

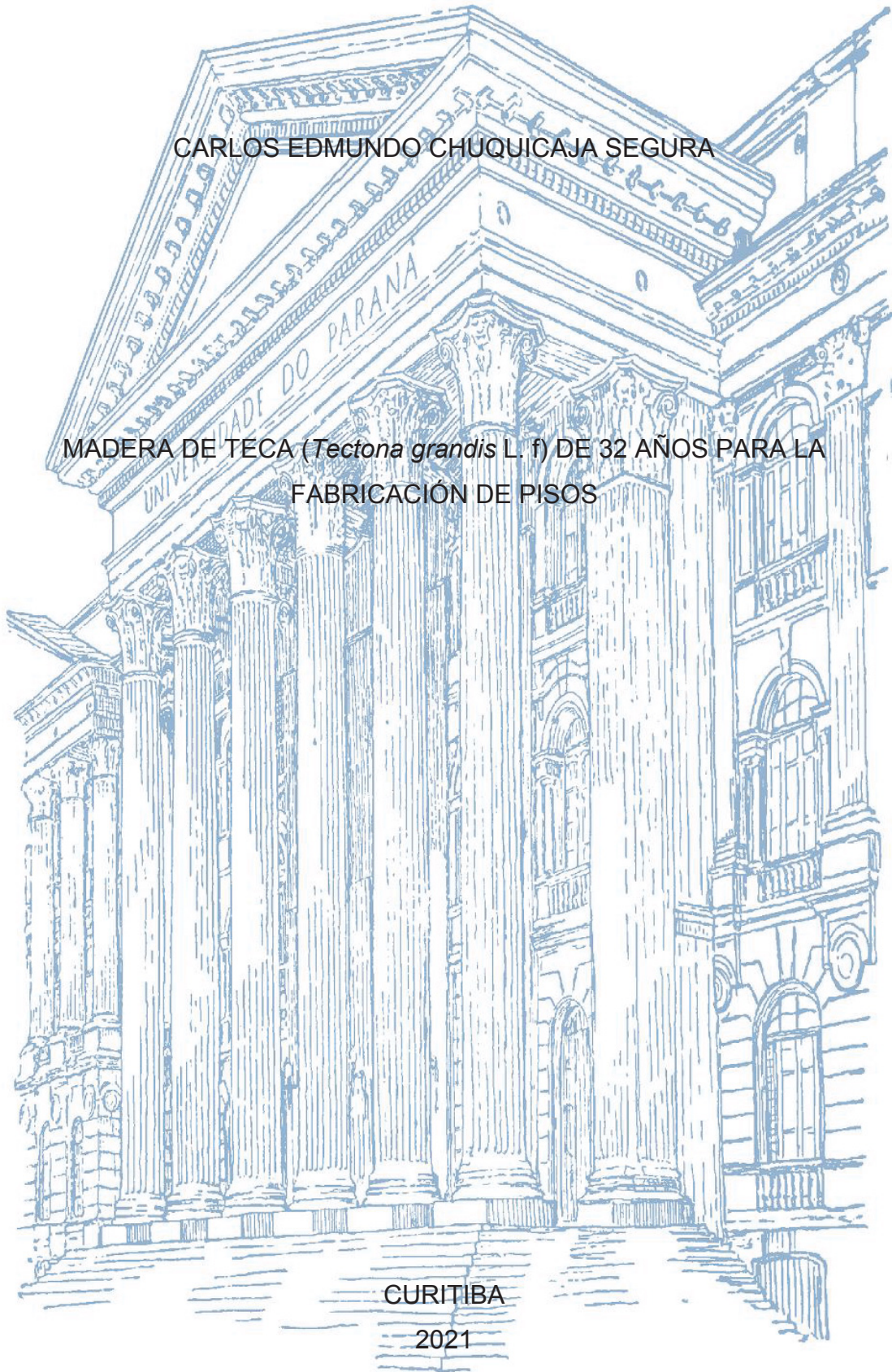
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CARLOS EDMUNDO CHUQUICAJA SEGURA

MADERA DE TECA (*Tectona grandis* L. f) DE 32 AÑOS PARA LA
FABRICACIÓN DE PISOS

CURITIBA

2021



CARLOS EDMUNDO CHUQUICAJA SEGURA

MADERA DE TECA (*Tectona grandis* L. f) DE 32 AÑOS PARA LA
FABRICACIÓN DE PISOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Florestal, Área de concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha

Coorientadores: Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke
Prof. PhD. Héctor Enrique
Gonzales Mora

CURITIBA

2021

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Chuquicaja Segura, Carlos Edmundo

Madera de teca (*Tectona grandis* L. f) de 32 años para la
fabricación de pisos / Carlos Edmundo Chuquicaja Segura. – Curitiba, 2020.
132 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke

Prof. PhD. Héctor Enrique Gonzáles Mora

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
Defesa: Curitiba, 29/10/2020.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Madeira - Produtos - Peru. 2. Pisos - Peru. 3. Teca (Árvore) - Peru.
4. Madeira - Utilização - Peru. 5. Teses. I. Rocha, Márcio Pereira da.
II. Klitzke, Ricardo Jorge. III. Gonzáles Mora, Héctor Enrique.
IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.833(85)

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **CARLOS EDMUNDO CHUQUICAJA SEGURA** intitulada: **MADERA DE TECA (*Tectona grandis* L. f) DE 32 AÑOS PARA LA FABRICACION DE PISOS**, sob orientação do Prof. Dr. MÁRCIO PEREIRA DA ROCHA, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 29 de Outubro de 2020.

Assinatura Eletrônica

30/10/2020 09:16:37.0

MÁRCIO PEREIRA DA ROCHA

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

29/10/2020 21:02:38.0

GRAZIELA BAPTISTA VIDAURRE DAMBROZ

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO)

Assinatura Eletrônica

30/10/2020 11:25:54.0

RAQUEL MARCHESAN

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE TOCANTINS)

Assinatura Eletrônica

30/10/2020 17:20:57.0

JOSÉ TARCÍSIO LIMA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS)

Assinatura Eletrônica

29/10/2020 21:03:20.0

PEDRO HENRIQUE GONZALEZ DE CADEMARTORI

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

A mi esposa Alejandrina, a mis hijos Carlos, Ana y Andrea y a mis nietos Sebastián, Joaquim, Santiago y Julián por el apoyo, motivación y amor que me brindan siempre.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Federal de Paraná, Programa de postgrado en Ingeniería Forestal, por las facilidades y oportunidades brindadas en atención al convenio de cooperación suscrito con la Universidad Nacional Agraria La Molina, en el área de Ciencias Forestales.

A mi orientador, Profesor Dr. Márcio Pereira da Rocha, por sus enseñanzas, amistad, orientación y sugerencias durante la realización de los estudios de doctorado.

Al Dr. Ricardo Jorge Klitzke, co-orientador, por sus enseñanzas, su predisposición, comprometida colaboración en la realización de los estudios de doctorado.

Al Dr. Enrique Gonzales Mora, co-orientador, por sus aportes, sugerencias y predisposición de colaboración en la realización de los estudios de doctorado.

Al Dr. Antonio Carlos Batista que conjuntamente el Dr. Marcio Pereira da Rocha, realizaron una efectiva gestión para que se concrete el convenio entre la Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú y la Universidad Federal de Paraná (UFPR), Brasil.

Al Dr. José Reinaldo M. da Silva, por su gran ayuda y oportuna disposición para brindar información y conocimientos técnicos en el manejo del equipo para ensayos de simulación de pisos en servicio.

A la Dra. Carmen Belezmore, Vice rectora de Investigación de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por el apoyo financiero con fondos del vicerrectorado de Investigación, para fabricación de dos equipos mecánicos, que permitieron la culminación de los ensayos de simulación de pisos en servicio, necesarios para la culminación de la presente investigación.

Al Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica de la Madera CITE-Madera, por permitir el uso de equipos para la ejecución de pruebas de simulación de pisos en servicios, en especial a la Ing. Jessica Moscoso, directora de CITE-Madera; Ing. Sandra Koc, jefa del área de Laboratorio y Normalización, Ing. José Ugarte, Ing. Javier Harens, Ing. John Bartolo Cuba y a todos los profesionales que laboran en dicha institución, por su gran disposición al momento

de realizar los ensayos, que fue muy importante en la realización de esta etapa de la investigación.

Al Ing. Mg.Sc. Moisés Acevedo Mallque, Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por sus consejos y conocimientos compartidos durante la ejecución del presente trabajo.

A los jefes y profesores de los Laboratorios de Secado de la Madera, Ensayos Tecnológicos, Química Forestal y Anatomía de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina: Florencio Trujillo, Martin Araujo, Moisés Acevedo, Enrique Gonzales, Daysi Guzmán, Manuel Chavesta y Rolando Montenegro, por las facilidades brindadas, de acuerdo a su especialidad, en la realización de los ensayos anatómicos, físicos, mecánico y químicos.

Al Ing. Rolando Montenegro Muro, por su apoyo durante la caracterización anatómica de la madera

A las compañeras y compañeros de estudio del doctorado, por su amistad y apoyo.

A la Ing. Romina Alvarez Lozano y al Bach. Alonso Montoya por su apoyo en la realización de los trabajos de laboratorio de Tecnología y Anatomía de la madera.

Al Ing. Álvaro Guerra Miranda, por su apoyo en la preparación, de las probetas de madera para la ejecución de los ensayos físico, mecánicos y de simulación de pisos en servicio.

Al Ing. Willy Sedano, por las facilidades brindadas en el uso de las instalaciones de la empresa Maderas Wise S.R.L, durante la preparación de las probetas para los ensayos de simulación de pisos en servicio.

Al Instituto Regional de Desarrollo de Selva de la Universidad Nacional Agraria La Molina (IRD-Selva), por facilitar los árboles de teca para la investigación.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo caracterizar a madeira de *Tectona grandis* de 32 anos, plantada no Peru, avaliando a possibilidade de ser utilizada na fabricação de pisos de madeira maciça. Para a caracterização tecnológica da madeira, foram utilizadas seis árvores, selecionadas a partir de uma plantação experimental, de propriedade da Universidade Nacional Agrária La Molina, localizada na região de Chanchamayo. Ao remover as árvores, foram coletados discos que representam as extremidades de uma tora para determinar a proporção dos cerne volume, excentricidade de medula e características anatômicas da madeira. Ao serrar as toras, foram obtidas tábuas de madeira serradas e blocos para os testes correspondentes. Amostras homogêneas de sawdram foram coletadas durante a serragem para caracterização química da madeira. As tábuas foram secas em forno por meio de um programa moderado, a partir da madeira seca os espécimes foram obtidos para testes de pisos em serviço. Os blocos de madeira serrada foram condicionados e habilitados a obter amostras de teste das propriedades físicas e mecânicas da madeira. Na caracterização tecnológica da madeira verificou-se que 60% do volume de uma tora sem casca corresponde ao cerne. Na seção transversal das toras, observou-se excentricidade de medula de 4,5%. A madeira era de textura média, com fibras libríformas e septos de comprimento curto e parede celular muito fina, com raios homocelulares formados por células procumbentes. A madeira tinha baixo teor de holocelulose, alto teor de lignina e um pH ligeiramente alcalino (7,84). A madeira foi caracterizada por ter massa básica média específica (0,54 g.cm⁻³), com boa estabilidade dimensional com contração volumosa de 6,6% e coeficiente anisotrópico de 1,88. Com alta dureza Janka, alta resistência à flexão estática e resistência média à compressão paralela às fibras e tesouras. Em testes de simulação de piso em serviço, a madeira *T. grandis* apresentou maior resistência à abrasão do que algumas espécies atualmente utilizadas para a fabricação de pisos, bem como altos coeficientes de atrito estático e dinâmico. Por outro lado, teve baixa resistência em testes de carga de rolamento, cargas concentradas em pequenas áreas e na queda da esfera de aço. Em quase todos os testes de piso, a madeira finalizada com verniz DD teve resistência significativamente maior do que para madeira inacabada, com exceção da queda da esfera e testes dinâmicos de coeficiente de atrito. A madeira composta de albura e cerne tinha resistência semelhante à madeira composta apenas de cerne, em testes de carga de rolamento e abrasão. Enquanto em testes de cargas concentradas em pequenas áreas e queda de esfera, a madeira composta apenas do cerne tinha maior força do que madeira composta de alburno e cerne. Com esse comportamento, a madeira *T. grandis* pode ser usada na fabricação de pisos para o trânsito leve ou em locais onde as cargas não são altas.

Palavras-chave: Propriedades de madeira. Testes de simulação de piso.
Abrasividade. Coeficiente de atrito. Cerne

ABSTRACT

This study aimed to characterize *Tectona grandis* wood of 32 years, planted in Peru, evaluating the possibility of being used in the manufacture of solid wood floors. For the technological characterization of wood, six trees were used, selected from one to experimental plantation, owned by the National Agrarian University La Molina, located around Chanchamayo. When extracting the trees, discs representing the ends of a log were collected to determine the proportion of volume of heartwood, the eccentricity of the pith and the anatomical characteristics of the wood. When sawing the logs, sawn wooden boards and blocks were obtained for the corresponding tests. Homogeneous saw drum samples were collected during sawing for the chemical characterization of wood. The boards were dried in an oven using a moderate program, from the dry wood the specimens were obtained for testing of in-service floors. The sawn wood blocks were conditioned and enabled to obtain test specimens of the physical and mechanical properties of the wood. In the technological characterization of the wood, it was found that 60% of the volume of a log without bark, corresponds to heartwood. In the cross-section of the logs, a 4.5% pith eccentricity was observed. The wood was of medium texture, with libriform and septet fibers of short length and very thin cell wall, with homo cellular radii formed by procumbent cells. The wood had a low holocellulose content, high lignin content and a slightly alkaline pH (7,84). The wood was characterized by having average basic specific mass ($0,54 \text{ g.cm}^{-3}$), with good dimensional stability with a volumetric contraction of 6,6% and an anisotropic coefficient of 1,88. With high Janka hardness, high resistance to static bending and medium resistance to compression parallel to fibers and shearing. In the in-service floor simulation tests, *T. grandis* wood exhibited more abrasion resistance than some species currently used for flooring manufacturing, as well as high coefficients of static and dynamic friction. On the other hand, it had low resistance in rolling load tests, loads concentrated in small areas and in the steel sphere drop. In almost all, flooring tests, wood finished with DD varnish had significantly higher strength than for unfinished wood, except for sphere drop and dynamic friction coefficient tests. The wood composed of sapwood and heartwood had similar resistance to wood composed only of heartwood, in rolling load and abrasion tests. While in tests of loads concentrated in small areas and sphere drop, wood composed only of heartwood had greater strength than wood composed of sapwood and heartwood. With this behavior *T. grandis* wood can be used in the manufacture of floors for light transit or in places where loads are not high.

Keywords: Wood properties. Floor simulation tests. Abrasiveness. Friction coefficient. Heartwood

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar la madera de *Tectona grandis* de 32 años, plantada en Perú, evaluando la posibilidad de ser utilizada en la fabricación de pisos de madera maciza. Para la caracterización tecnológica de la madera, fueron utilizados seis árboles, seleccionados de una plantación experimental, propiedad de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ubicado en la zona de Chanchamayo. Al extraer los árboles se colectaron discos que representan los extremos de una troza, para determinar la proporción de volumen de duramen, excentricidad de médula y las características anatómicas de la madera. Al aserrar las trozas se obtuvieron tablas y bloques de madera aserrada, para los ensayos correspondientes. Durante el aserrío se colectó muestras homogéneas de aserrín para la caracterización química de la madera. Las tablas fueron secadas en horno empleando un programa moderado, a partir de la madera seca se obtuvieron las probetas para los ensayos de simulación de pisos en servicio. Los bloques de madera aserrada fueron acondicionados y habilitados para la obtención de probetas de ensayos de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. En la caracterización tecnológica de la madera se encontró que el 60% del volumen de una troza sin corteza, corresponde a duramen. En la sección transversal de las trozas se observó una excentricidad de médula de 4,5%. La madera fue de textura media, con fibras libriformes y septadas de longitud corta y de pared celular muy delgada, con radios homocelulares formado por células procumbentes. La madera presentó un bajo contenido de holocelulosa, alto contenido de lignina y un pH ligeramente alcalino (7,84). La madera se caracterizó por tener masa específica básica media ($0,54 \text{ g.cm}^{-3}$), con buena estabilidad dimensional con una contracción volumétrica de 6,6% y un coeficiente anisotrópico de 1,88. Con alta dureza Janka, alta resistencia a la flexión estática y resistencia media a la compresión paralela a las fibras y al cizallamiento. En los ensayos de simulación de pisos en servicio, la madera de *T. grandis* presentó mayor resistencia a la abrasión que algunas especies utilizadas actualmente para la fabricación de pisos, así mismo presentó altos coeficientes de rozamiento estático y dinámico. Por otro lado presentó baja resistencia en los ensayos de carga rodante, cargas concentradas en pequeñas áreas y en el de caída de esfera de acero. En casi todos los ensayos, de pisos, la madera con acabado con barniz DD tuvo una resistencia significativamente mayor que para madera sin acabado, con excepción de los ensayos de caída de esfera y coeficiente de rozamiento dinámico. La madera compuesta por albura y duramen presentó resistencia similar a la madera compuesta solo por duramen, en los ensayos de carga rodante y abrasión. Mientras que en los ensayos de cargas concentradas en pequeñas áreas y de caída de esfera, la madera compuesto solo por duramen presentó mayor resistencia que la madera compuesta por albura y duramen. Con este comportamiento la madera de *T. grandis* puede ser utilizada en la fabricación de pisos para tránsito liviano o en lugares donde las cargas no sean altas.

Palabras-clave: Propiedades de la madera. Ensayos de simulación de pisos. Abrasividad. Coeficiente de rozamiento. Duramen

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PLANTACION DE <i>Tectona grandis</i> EN PERÚ	26
FIGURA 2 - VISTA TANGENCIAL DE LA MADERA ASERRADA DE <i>Tectona grandis</i> DE UNA PLANTACION	27
FIGURA 3 - LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA PLANTACION DE <i>Tectona grandis</i> Y ORIGEN DE LAS MUESTRAS DE ESTUDIO.....	42
FIGURA 4 - ESQUEMA DE LA OBTENCION DE TROZAS Y DISCOS DE <i>Tectona grandis</i>	44
FIGURA 5 - ESQUEMA DE CORTE UTILIZADO EN EL ASERRIO DE LAS PRIMERAS TROZAS POR ARBOL DE <i>Tectona grandis</i>	45
FIGURA 6 - ESQUEMA DE CORTE SEGUIDO EN EL ASERRIO DE TROZAS DE <i>Tectona grandis</i> UBICADAS SOBRE EL DAP	45
FIGURA 7 - MEDICION DE AREAS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA TROZA DE <i>Tectona grandis</i>	47
FIGURA 8 - TOMA DE MUESTRA PARA LA CARACTERIZACION ANATOMICA DE LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i>	48
FIGURA 9 - EQUIPO UTILIZADO PARA EL ENSAYO DE CARGA RODANTE EN PISOS DE MADERA DE <i>Tectona grandis</i>	53
FIGURA 10 - MEDICION DE LAS DEPRESIONES EN EL ENSAYO DE CARGA RODANTE EN PISOS DE <i>Tectona grandis</i>	54
FIGURA 11 - EQUIPO DE ENSAYO DE CARGAS CONCENTRADAS EN PEQUEÑAS AREAS EN PISOS DE <i>Tectona grandis</i>	55
FIGURA 12 - MEDICION DE LAS DEPRESIONES EN EL ENSAYO DE CARGAS CONCENTRADAS EN PEQUEÑAS AREAS EN PISO DE <i>Tectona grandis</i>	55
FIGURA 13 - EQUIPO DE ENSAYO DE IMPACTO DE CAIDA DE ESFERA DE ACERO EN PISOS DE <i>Tectona grandis</i>	57
FIGURA 14 - MEDICION DE LAS DEPRESIONES ORIGINADAS POR EL IMPACTO DE CAIDA DE LA ESFERA DE ACERO EN PISOS DE <i>Tectona grandis</i>	58
FIGURA 15 - EQUIPO TABER ABRASER UTILIZADO PARA EL ENSAYO DE ABRASIVIDAD EN PISOS DE <i>Tectona grandis</i>	59

FIGURA 16 - MEDICION DE LA DEPRESION ORIGINADA POR EL ENSAYO DE ABRASIVIDAD EN PISOS DE <i>Tectona grandis</i>	59
FIGURA 17 - EQUIPO UTILIZADO EN EL ENSAYO DE ROZAMIENTO ESTATICO Y DINAMICO EN MADERA DE <i>Tectona grandis</i>	60
FIGURA 18 - SECCION TRANSVERSAL DE LOS EXTREMOS DE UNA TROZA DE <i>Tectona grandis</i> MOSTRANDO LA EXCENTRICIDAD DE MEDULA Y LA PROPORCION DE ALBURA Y DURAMEN	63
FIGURA 19 - CORTES ANATOMICOS DE LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i> . A) POROSIDAD SEMICIRCULAR; B) RADIO FORMADO POR CELULAS PROCUMBENTES; C) RADIOS MULTISERIADOS	64
FIGURA 20 - ELEMENTOS LEÑOSOS DE <i>Tectona grandis</i> . A) FIBRA; B) ELEMENTO VASCULAR	65
FIGURA 21 - RELACION ENTRE LA MASA ESPECIFICA BÁSICA Y LA DUREZA JANKA DE LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE UNA PLANTACION	82
FIGURA 22 - DEPRESION OCASIONADA POR EL IMPACTO DE LA ESFERA DE ACERO SOBRE LA MADERA CON ALBURA Y DURAMEN SIN ACABADO DE <i>Tectona grandis</i> DE UNA LANTACIÓN EN FUNCION DE LA ALTURA DE CAIDA.....	93
FIGURA 23 - DEPRESION OCASIONADA POR EL IMPACTO DE LA ESFERA DE ACERO SOBRE LA MADERA CON 100% DE DURAMEN SIN ACABADO DE <i>Tectona grandis</i> DE UNA PLANTACIÓN EN FUNCION DE LA ALTURA DE CAIDA.....	93

LISTA DE CUADROS

CUADRO 1 - CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO DE ACABADO APLICADO A MADERA DE TECTONA GRANDIS	52
--	----

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 - MASA ESPECÍFICA BÁSICA DE LA MADERA DE TECA DE DIFERENTES EDADES Y PROCEDENCIAS	29
TABLA 2 - VALORES DE DUREZA DE MADERAS DE ALGUNAS ESPECIES UTILIZADAS EN LA PRODUCCION DE PISOS DE MADERA EN PERÚ	35
TABLA 3 - CATEGORIAS DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ PARA MADERAS DE DICOTILEDONEAS A 12% DE CONTENIDO DE HUMEDAD INDICADO POR LA NBR 7190	36
TABLA 4 - DIMENSIONES DE LOS ARBOLES DE <i>Tectona grandis</i> SELECCIONADOS PARA EL ESTUDIO	43
TABLA 5 - PROGRAMA DE SECADO MODERADO: MADERAS LATIFOLIADAS DE SECADO LENTO Y/O PROPENSAS A DEFORMACIONES Y AGRIETAMIENTOS UTILIZADO PARA SECADO DE TABLAS DE <i>Tectona grandis</i>	46
TABLA 6 - VALORES PROMEDIO DE EXCENTRICIDAD DE MÉDULA Y DE PROPORCIÓN DE ALBURA Y DURAMEN DE <i>Tectona grandis</i> DE UNA PLANTACIÓN EN PERÚ	62
TABLA 7 - DIMENSIONES PROMEDIO DE LOS ELEMENTOS ANATÓMICOS DE LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE UNA PLANTACIÓN.....	66
TABLA 8 - COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE 32 AÑOS	69
TABLA 9 - VALORES PROMEDIO DE MASA ESPECÍFICA BÁSICA Y APARENTE AL 12% DE LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE UNA PLANTACIÓN	71
TABLA 10 - VALORES PROMEDIOS DE CONTRACCIÓN TANGENCIAL, RADIAL, AXIAL, VOLUMÉTRICA Y COEFICIENTE ANISOTRÓPICO DE LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE UNA PLANTACIÓN.....	73
TABLA 11 - VALOR PROMEDIO Y COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE <i>Tectona grandis</i> AL 12% DE HUMEDAD, DE UNA PLANTACIÓN.....	75

TABLA 12 - VALORES PROMEDIOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS ESPECIES <i>Tectona grandis</i> ¹ , <i>Dipteryx odorata</i> , <i>Myroxylon balsamum</i> , <i>Calicophyllum spruceanum</i> y <i>Manilkara bidentata</i>	77
TABLA 13 - DUREZA JANKA DE MADERAS DE ESPECIES TROPICALES NATIVAS UTILIZADAS EN LA FABRICACIÓN DE PISOS EN PERÚ Y DE <i>Tectona grandis</i> DE UNA PLANTACIÓN	79
TABLA 14 - VALORES CARACTERÍSTICOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE <i>Tectona grandis</i> DE UNA PLANTACIÓN	80
TABLA 15 - MASA ESPECÍFICA BÁSICA Y DUREZA JANKA DE LA MADERA DE ALBURA Y DURAMEN DE <i>Tectona grandis</i> DE UNA PLANTACION	81
TABLA 16 - VALORES PROMEDIO DE DEPRESIÓN ORIGINADA POR LA CARGA RODANTE DE 890 N EN MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE UNA PLANTACIÓN SIN Y CON ACABADO	83
TABLA 17 - VALORES DE DEPRESIÓN EN ENSAYO DE CARGA RODANTE Y MASA ESPECÍFICA BÁSICA REPORTADOS POR LA LITERATURA PARA DIFERENTES ESPECIES	84
TABLA 18 - COMPARACIÓN DE LOS VALORES PROMEDIO DE DEPRESIÓN ORIGINADA POR LA CARGA RODANTE DE 890 N EN MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE UNA PLANTACIÓN SIN Y CON ACABADO.....	85
TABLA 19 - VALORES PROMEDIO DE DEPRESIÓN ORIGINADA POR LA CARGA RODANTE DE 890 N POR TIPO DE MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE UNA PLANTACIÓN SIN Y CON ACABADO	86
TABLA 20 - VALORES PROMEDIO DE INDENTACIÓN CAUSADA POR LA APLICACIÓN DE CARGAS PUNTUALES SOBRE LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE UNA PLANTACIÓN SIN Y CON ACABADO.....	88
TABLA 21 - VALORES PROMEDIOS DE INDENTACIÓN CAUSADA POR LA APLICACIÓN DE CARGAS PUNTUALES SOBRE LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE UNA PLANTACIÓN, SIN Y CON ACABADO CON FINES COMPARATIVOS	90
TABLA 22 - VALORES PROMEDIOS DE DEPRESIÓN OCASIONADAS POR EL IMPACTO DE CAIDA DE LA ESFERA DE ACERO EN MADERA DE <i>Tectona grandis</i> SIN Y CON ACABADO A 1800 mm DE ALTURA...	91

TABLA 23 - ÍNDICE DE RESISTENCIA A LA HENDIDURA POR EL IMPACTO DE LA ESFERA DE ACERO SOBRE LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE UNA PLANTACIÓN PARA UNA ALTURA DE CAIDA DE 1800 mm	94
TABLA 24 - VALORES PROMEDIOS DE DEPRESIÓN OCURRIDOS POR LA ABRASIÓN EN LA MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE UNA PLANTACIÓN SIN Y CON ACABADO	97
TABLA 25 - VALORES PROMEDIOS DE LOS COEFICIENTES DE FRICCIÓN ESTÁTICO Y DINÁMICO EN MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE UNA PLANTACIÓN SIN ACABADO	99
TABLA 26 - VALORES PROMEDIOS DE LOS COEFICIENTES DE FRICCIÓN ESTÁTICO Y DINÁMICO EN MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE UNA PLANTACIÓN CON ACABADO	101
TABLA 27 - VALORES PROMEDIOS DE LOS COEFICIENTES DE FRICCIÓN ESTÁTICO Y DINÁMICO EN MADERA DE <i>Tectona grandis</i> DE UNA PLANTACIÓN SIN Y CON ACABADO	103

LISTA DE SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALC	- América Latina y el Caribe
ANOVA	- Análisis de varianza
ASTM	- <i>American Society for Testing and Materials</i>
CITE-madera	- Centro de Innovación Tecnológica de la Madera
CITES	- Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre
DAP	- Diámetro a la Altura del Pecho
DBCA	- Diseño Bloque Completo al Azar
IAWA	- <i>International Association of Wood Anatomists</i>
INRENA	- Instituto Nacional de Recursos Naturales
JUNAC	- Junta Nacional del Acuerdo de Cartagena
NBR	- Norma Brasileira
NTP	- Norma Técnica Peruana
MEB	- Masa Específica Básica
MOE	- Módulo de Elasticidad
MOR	- Módulo de Ruptura
pH	- Potencial de Hidrógeno
SERFOR	- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
TAPPI	- <i>Technical Association of the Pulp and Paper Industry</i>
UNALM	- Universidad Nacional Agraria La Molina

LISTA DE UNIDADES

%	- Porcentaje
cm	- Centímetro
cm ³	- Centímetro cúbico
°C	- Grado Celsius
g	- Gramo
g.cm ⁻³	- Gramo por centímetro cúbico
ha	- Hectárea
kg	- Kilogramo
kg-m	- Kilogramo metro
m	- Metro
m ³	- Metro cúbico
m ³ .ha ⁻¹	- Metro cúbico por hectárea
mm	- Milímetro
mm.año ⁻¹	- Milímetro por año
mm.min ⁻¹	- Milímetro por minuto
mm.s ⁻¹	- Milímetro por segundo
MPa	- Megapascal
N	- Newton
N°.mm ⁻¹	- Número de unidades por milímetro lineal
N°.mm ⁻²	- Número de unidades por milímetro cuadrado
μm	- Micra

ÍNDICE

1	INTRODUCCION.....	22
1.1	CONTEXTO Y PROBLEMA	22
1.2	OBJETIVOS	24
1.2.1	Objetivo general	24
1.2.2	Objetivos específicos.....	24
2	REVISION DE LITERATURA.....	25
2.1	CONSIDERACIONES GENERALES.....	25
2.2	PROPIEDADES DE LA MADERA DE TECA	27
2.2.1	Propiedades físicas de la madera	28
2.2.1.1	Masa específica básica	28
2.2.1.2	Contenido de humedad	29
2.2.1.3	Cambios dimensionales	30
2.2.2	Propiedades anatómicas	31
2.2.3	Propiedades químicas	32
2.2.4	Propiedades mecánicas	34
2.3	PISOS DE MADERA	36
2.3.1	Tipos de pisos de madera	37
2.3.2	Ensayos de simulación de pisos de madera en servicio	38
3	MATERIAL Y METODOS	42
3.1	LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO	42
3.2	SELECCIÓN DE ÁRBOLES Y OBTENCIÓN DE TROZAS.....	43
3.3	ASERRÍO DE TROZAS	44
3.4	CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LA MADERA.....	46
3.4.1	Proporción de albura y duramen y excentricidad de médula	46
3.4.2	Propiedades anatómicas	48
3.4.3	Caracterización química	49
3.4.4	Propiedades físicas	50
3.4.5	Propiedades mecánicas	51
3.5	ENSAYOS DE SIMULACIÓN DE PISOS DE MADERA EN SERVICIO	51

3.5.1	Ensayo de carga rodante	52
3.5.2	Ensayo de cargas concentradas en pequeñas áreas.....	54
3.5.3	Ensayo de impacto de caída de esfera de acero.....	56
3.5.4	Ensayo de abrasividad	58
3.5.5	Ensayo de rozamiento estático y dinámico	60
3.6	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	61
4	RESULTADOS Y DISCUSION.....	62
4.1	CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LA MADERA.....	62
4.1.1	Excentricidad de médula y proporción de albura y duramen.....	62
4.1.2	Propiedades anatómicas	64
4.1.3	Caracterización química de la madera	69
4.1.4	Masa específica básica y aparente	71
4.1.5	Contracciones de la madera.....	73
4.1.6	Propiedades mecánicas	75
4.2	ENSAYOS DE SIMULACIÓN DE PISOS EN SERVICIO	80
4.2.1	Masa específica básica y dureza Janka	80
4.2.2	Ensayo de carga rodante	83
4.2.3	Ensayo de cargas concentradas en pequeñas áreas.....	87
4.2.4	Ensayo de impacto de caída de esfera de acero.....	91
4.2.5	Ensayo de abrasividad	96
4.2.6	Ensayo de rozamiento estático y dinámico	99
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
	REFERENCIAS.....	107
	ANEXO 1 - ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA MASA ESPECÍFICA BÁSICA Y DUREZA JANKA	117
	ANEXO 2- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO DE CARGA RODANTE.....	117
	ANEXO - 3ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO DE HENDIDURA CAUSADA POR CARGAS APLICADAS EN PEQUEÑAS ÁREAS	119
	ANEXO 4 - ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO DE ABRASIVIDAD.....	121
	ANEXO 5 - ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO DE IMPACTO DE CAÍDA DE ESFERA DE ACERO.....	123

ANEXO 6 - ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ENSAYO DE	
FRICCIÓN.....	131

1 INTRODUCCION

1.1 CONTEXTO Y PROBLEMA

La industria de transformación mecánica de la madera en Perú se abastece principalmente de madera rolliza proveniente de bosques naturales. Este recurso se caracteriza por la heterogeneidad de especies maderables, lo cual propicia una extracción selectiva de especies que cada vez son más escasas y alejadas de los centros de transformación.

De acuerdo con el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR, 2019), el Perú posee 9,44 millones de hectáreas de tierras con aptitud forestal. El 25% de estas tierras se encuentra en la región de la selva, las que podrían ser reforestadas con especies maderables de interés del mercado local e internacional.

En Perú, se han desarrollado proyectos de reforestación, principalmente con fines energéticos y de protección. Sin embargo, a partir del año 1960 se inicia la reforestación con fines comerciales a pequeña escala, con diferentes especies maderables de interés comercial nativas y exóticas. Entre las que se puede mencionar como nativas a capirona (*Calycophyllum spruceanum*), bolaina (*Guazuma sp.*), shihuahuaco (*Dipteryx odorata*), marupa (*Simarouba amara*), entre otros y como exóticas se puede mencionar a eucaliptos (*Eucalyptus spp.*), pinos (*Pinus spp.*) y teca (*Tectona grandis*).

El Plan Nacional de Reforestación de Perú proyecta reforestar 864,5 mil has con plantaciones forestales y agroforestales industriales al año 2024 (INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES - INRENA 2005). En esa línea la empresa privada REFORESTA PERU S.A.C viene trabajando desde hace 8 años y medio en plantaciones forestales con fines industriales y ambientales, entre las especies maderables con fines comerciales utilizadas sobresale la teca (*Tectona grandis* L.f.) con un crecimiento anual de $24 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}$ (TOLEDO 2016). Así mismo otras empresas privadas están haciendo reforestación con fines comerciales empleando la especie teca.

Las plantaciones forestales con fines comerciales constituyen una buena alternativa para incrementar la productividad del sector forestal y al mismo tiempo reducir la presión sobre los bosques naturales como fuente de materia prima, propiciando la conservación de los bosques naturales y la mejora de la calidad ambiental. Por otro lado, las plantaciones forestales con fines comerciales generan puestos de trabajo en el bosque, en la industria y en las actividades económicas que se derivan del aprovechamiento de las plantaciones forestales.

Sin embargo, para las plantaciones de teca que se están realizando en Perú, no se tiene definido el uso que se le dará a la madera en el momento de la cosecha. Esta situación está relacionada con diversos factores, principalmente con el desconocimiento de las características tecnológicas de la madera de teca producida en las condiciones locales, para un determinado uso.

La teca (*Tectona grandis* L.f.) es la especie arbórea de madera dura tropical que más se emplea en reforestación con fines comerciales a nivel mundial (CAMINO, 2013). Esta especie, que es originaria del sureste asiático ocurre en Myanmar, India, República de Laos, Tailandia, Malasia, Indochina y Java (FONSECA, 2004), se cultiva en diferentes países del mundo, incluido países de América del Sur como Brasil, Ecuador, Colombia, Argentina, entre otros y recientemente Perú, lo cual es posible porque la teca tiene la capacidad de adaptarse a zonas de condiciones ecológicas diferentes a las de su origen (CAMINO, 2013).

La madera de teca ampliamente difundida en el mundo, tiene características tecnológicas muy buenas que la convierten en una madera muy valiosa, con alto potencial para la fabricación de productos de mayor valor agregado, su valor está relacionado con su buena estabilidad dimensional, buena durabilidad natural y su fácil trabajabilidad (CAMINO, 2013). Sin embargo dichas características tecnológicas varían de acuerdo a la edad y las condiciones de sitio donde se producen, reflejados en diámetros, porcentaje de duramen y de albura, excentricidad de médula, ancho de anillos de crecimiento, entre otros.

En el mundo, la rotación de las plantaciones de teca intensivamente explotadas es de 20 a 25 años, observándose una mayor proporción de madera juvenil que madera madura (BHAT et al., 2001).

Considerando la creciente importancia de la teca en reforestación con fines comerciales y la escasa información técnica para la madera de teca producida en Perú, en el presente estudio se evaluó la viabilidad tecnológica de la madera de teca de 32 años de edad, procedente de una plantación experimental de la Universidad Nacional Agraria La Molina en la región de selva, para la producción de pisos de madera maciza. Los resultados del estudio se orientan a facilitar la mejor toma de decisión en la búsqueda del mejor uso alternativo que se le podría dar a la madera de teca proveniente de plantaciones en Perú.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

- Verificación de la aptitud de la madera de teca (*Tectona grandis* L.f.), procedente de una plantación en Perú, para su utilización en la fabricación de pisos de madera maciza.

1.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar las propiedades anatómicas, químicas, físicas y mecánicas de la madera.
- Evaluar las propiedades específicas de la madera para la fabricación de pisos sin acabado y con acabado, por medio de ensayos de simulación de pisos en servicio.

2 REVISION DE LITERATURA

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

La *Tectona grandis* L.f., es una especie arbórea, conocida ampliamente como teca en la mayoría de los países donde se ha introducido. En la India, se le conoce como sagun, sagon, saguan, skhu, toak, shilp tru, Indian oak. También conocida con otros nombres como: Teck (Francia, India, Inglaterra y Holanda); jati, deleg y kulidawa (Indonesia); kyun (Birmania); sak y mai-sak (Laos y Tailandia), teca de Rangún, rasawa (FONSECA, 2004).

La especie es originaria del sureste asiático (Myanmar, Tailandia, la India y La República Democrática Popular Laos), países localizados entre los 12° y 25° latitud norte y de 73° a 104° longitud este (FONSECA, 2004).

Myanmar tiene la mayor superficie de bosques nativos de teca, aproximadamente 14 millones de ha, que representa casi el 50% del total mundial, constituyéndose como uno de los principales productores de madera rolliza de teca en el mundo, a partir de bosques nativos y de bosques plantados (FAO, 2015).

La teca (*T. grandis* L.f.) es la especie de madera tropical más plantada en el mundo, para el año 2010 a partir de información de 38 países con plantaciones de teca, se estimó el área plantada de teca en 4,35 millones de ha, de los cuales el 83% se encontraba en Asia, el 11% en África y el 6% en América tropical (KOLLERT; CHERUBINI, 2012).

Antes de que se descubriera el potencial de la teca como actividad de inversión y se incrementara la demanda en Asia, debido a las restricciones allí impuestas al aprovechamiento de los bosques naturales de la especie, en América Latina la presencia de la especie era insignificante. El inicio de la reforestación con fines comerciales en la región de América Latina y el Caribe (ALC) fue lento, debido a la abundancia de especies duras tropicales de alto valor, como la caoba y el cedro, en la Selva Maya (Belize, México, Guatemala) y en América del Sur (Brasil, Bolivia y Perú, especialmente) (CAMINO, 2013).

Tradicionalmente las especies de madera dura han sido cortadas a una tasa mayor que la permitida por su recuperación natural. Muchas de las especies, no cuentan con estudios silviculturales, presentando problemas de regeneración y

de sobreexplotación. Una de ellas es la caoba (*Swietenia macrophylla* King). En Centroamérica, debido a la sobreexplotación, ya no existen bases para un manejo sostenible de la especie (CALVO, 2000).

En Perú, la caoba y el cedro se encuentran registrados en los Apéndices II y III, respectivamente de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES). Su aprovechamiento y comercio se encuentran controlados para evitar su extinción. Así, en el año 1997, se cortaron 89 mil m³ de madera, pero en el 2008, únicamente 4,8 mil m³. Eso muestra la reducción dramática de la oferta en uno de los principales países productores. En toda América Latina, no hay prácticamente oferta de madera proveniente de plantaciones de caoba (NAJERA, 2010), tanto por la baja velocidad de crecimiento como por problemas fitosanitarios de la especie (CAMINO, 2013).

La teca se introdujo en Panamá en el año 1926 con semillas procedentes de Sri Lanka. Las primeras plantaciones se establecieron en Costa Rica, entre los años 1926 y 1929. Posteriormente se han establecido plantaciones en Brasil, El Salvador, Honduras, Bolivia, Ecuador, Jamaica y Perú (FONSECA, 2004). En la FIGURA 1, se puede observar árboles de teca plantados en Perú.

FIGURA 1 - PLANTACION DE *Tectona grandis* EN PERÚ



Fuente: El autor (2020)

Brasil tiene mayor potencial de reforestación con teca por su extensión territorial, aunque en muchas áreas los factores biofísicos limitantes pueden afectar el crecimiento de la teca, siempre existirá una superficie apta. Colombia, Perú y Ecuador también presentan un potencial interesante, por sus condiciones climáticas y existencia de suelos apropiados. De ellos, Colombia y Perú aún no han empezado a reforestar a mayor escala (CAMINO, 2013).

La teca es una especie de buena adaptabilidad a diferentes climas, creciendo en áreas tropicales de clima monzónico con precipitaciones entre 1300 y 2500 mm.año⁻¹ y temperaturas de 2° y 48°C, pero se desenvuelve mejor con una temperatura mínima de 13° a 17°C y una máxima de 39° a 43°C y temporadas secas de 3 a 5 meses (PANDEY; BROWN, 2000; WEAVER, 1993).

2.2 PROPIEDADES DE LA MADERA DE TECA

La madera de teca es un material biológico de alto valor: fuerte, liviana, durable, estable, de buena trabajabilidad, resistente a productos químicos y a la intemperie. Es empleada en muebles de calidad, elementos estructurales, chapas, pisos, fabricación de puentes, embarcaderos y embarcaciones (CAMINO, 2013). En la FIGURA 2, es posible observar, a nivel macroscópico, el aspecto general de la madera de *T. grandis* producida en Perú.

FIGURA 2 - VISTA TANGENCIAL DE LA MADERA ASERRADA DE *Tectona grandis* DE UNA PLANTACION



FUENTE: El autor (2020)

La rotación de las plantaciones de teca intensivamente explotadas, a los 20 a 25 años, es determinante en la calidad y aptitud final de la madera que, por la

proporción de madera juvenil, muestra en muchos casos, características inferiores a la madera adulta (TORRES, 1999).

La longitud de la fibra, el ángulo microfibrilar, el diámetro y porcentaje de los vasos y el ancho del anillo de crecimiento parecen ser los mejores indicadores anatómicos de la demarcación entre la madera juvenil y madura, aunque la edad de maduración varía frecuentemente entre las propiedades. Las cifras proyectadas para la proporción de madera juvenil en la teca cultivada a la altura del pecho son del 80-100% y del 25% a las edades de 20 y 60 años, respectivamente (BHAT et al., 2001).

2.2.1 Propiedades físicas de la madera

2.2.1.1 Masa específica básica

La masa específica básica de la madera, también llamada densidad básica, por ser de fácil determinación y estar relacionada a sus demás características, es considerada como uno de los más importantes parámetros de evaluación de calidad de la madera (SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1991; OLIVEIRA; HELLMEISTER; TOMAZELLO FILHO, 2005). La masa específica es un factor de gran importancia utilizada en la clasificación de maderas estructurales y en la selección de productos de alta calidad para su empleo en edificaciones y otros usos en los que la resistencia de la madera es de vital importancia.

Cuando se trata de maderas para el empleo en la fabricación de pisos es necesario determinar sus características físicas, en especial la masa específica básica (PADILHA et al., 2006).

La masa específica básica de la madera de teca de plantaciones, ha sido determinada para diferentes edades y en diferentes localizaciones (países) observándose que los resultados no guardan relación con la edad, Lo cual se muestra en la TABLA 1.

Lima et al. (2009) indican que la masa específica básica de la madera de teca de 31 años, plantada en Brasil, no se encuentra influenciada en forma significativa por el distanciamiento de la plantación ni por la posición radial en la troza.

TABLA 1 - MASA ESPECÍFICA BÁSICA DE LA MADERA DE TECA DE DIFERENTES EDADES Y PROCEDENCIAS

EDAD (años)	PAIS	MEB g.cm ⁻³	CLASIFICACION Según IAWA	FUENTE
8	Bolivia	0,50	Media	Rivero y Moya (2006)
9	México	0,50	Media	Ypushima et al. (2014)
9	México	0,53	Media	Ypushima et al. (2014)
13	Costa Rica	0,56	Media	Moya et al. (2010)
13	Brasil	0,54	Media	Blanco et al. (2012)
17	Costa Rica	0,58	Media	Castro y Raygoza (2000)
18	Ecuador	0,52	Media	Crespo et al. (2008)
22	Ecuador	0,48	Media	Crespo et al. (2008)
31	Brasil	0,53 – 0,56	Media	Lima et al. (2009)

NOTA: MEB: masa específica básica.

En la TABLA 1, se observa que, en todos los estudios revisados sobre la determinación de la masa específica básica de la madera de teca de plantaciones, se reportan valores que corresponden a la categoría media, según IAWA (1989).

2.2.1.2 Contenido de humedad

El estudio tecnológico de las relaciones entre el agua y la madera es el más importante de todos los que dependen de este material, dado que afecta a la mayoría de los procesos de transformación de la madera. Además, las características de comportamiento de la madera están muy influenciadas por su contenido de humedad, que es un factor determinante en su durabilidad, en su resistencia, peso, sobre todo en sus dimensiones (VIGNOTE; MARTINEZ, 2006)

Castro y Raygoza (2000) estudiando madera de teca de plantaciones de 17 años, en Costa Rica, determinaron el contenido de humedad en condición verde de 93%. Por otro lado, Moya et al. (2010) para la madera de teca de una plantación de 13 años, en Costa Rica, determinaron el contenido de humedad en condición verde de 117,9%. El conocimiento del contenido de humedad en condición verde es importante para las labores de aprovechamiento en el desembosque y transporte de la madera rolliza.

2.2.1.3 Cambios dimensionales

Según Kollmann y Cotê (1968) el coeficiente anisotrópico es considerado como el índice más importante para evaluar la estabilidad dimensional de la madera y es definido por la relación entre las contracciones tangencial y radial (T/R). Los mismos autores señalan que la anisotropía es la característica responsable de la mayoría de los defectos de estabilidad dimensional, limitando su uso para diversos fines y exigiendo, por ello, técnicas específicas de procesamiento y utilización. Los autores afirman que la amplitud de la variación dimensional es generalmente mayor en la madera de mayor masa específica.

Oliveira et al. (2010) indican que las contracciones lineales que ocurren en los ejes de orientación de la madera, con frecuencia, son más importantes por ser diferentes, no obstante que la contracción volumétrica cuantifica la variación total ocurrida en la madera; este comportamiento caracteriza a la madera como un material anisotrópico. Cuando se evalúa la variación dimensional en las orientaciones tangencial y radial se observan desequilibrios entre los valores de contracción (MARCHESAN, 2016). Desequilibrios que son expresados a través del factor anisotrópico.

Rocha (2000) indica que el factor anisotrópico por sí sólo no define la estabilidad de la madera, porque factores anisotrópicos de baja contracción, pero con contracciones tangenciales y radiales altas generan la inestabilidad dimensional de la madera.

Moreschi (2014) clasifica los coeficientes anisotrópicos de la siguiente forma: 1,2 a 1,5 maderas consideradas excelentes; 1,6 a 1,9 maderas consideradas normales y por encima de 2,0 maderas consideradas de baja calidad.

Castro y Raygoza (2000) encontraron que el valor medio del coeficiente anisotrópico de la madera de *T. grandis* de 17 años de edad, en Costa Rica, fue de 1,8 indicando que la madera de esta especie posee buena estabilidad dimensional, con posibilidades de uso en productos que no permiten deformaciones, como pisos y muebles. Del mismo modo Blanco et al. (2014), para la madera de teca de 13 años plantada en Brasil, encontraron que el valor medio del coeficiente anisotrópico fue de 1,82, similar al caso anterior.

2.2.2 Propiedades anatómicas

La anatomía de la madera estudia los diversos tipos de células que componen el leño, su organización, sus funciones y características estructurales. El objetivo del estudio es brindar apoyo en la identificación de las especies, conocer la madera, orientando a su correcta utilización de acuerdo a sus características anatómicas, diferenciando maderas aparentemente idénticas, prever y comprender su comportamiento (ALVES et al., 2011).

León y Espinoza (2001) señalan que a través del conocimiento de la estructura anatómica de la madera se pueden inferir las propiedades físicas y mecánicas, técnicas de procesamiento y utilización de la madera; como una expresión de que el comportamiento de la madera va a ser un reflejo de sus características anatómicas.

La madera es un material de origen biológico complejo de extrema variabilidad. Sus propiedades anatómicas, físicas y mecánicas varían significativamente entre especies y entre las diferentes partes de un mismo árbol (GONÇALVES et al., 2007; INTERIAN et al., 2011). Desde el punto de vista tecnológico, el conocimiento de la anatomía de la madera permite hacer inferencias sobre sus propiedades físicas y mecánicas, técnicas de procesamiento y utilización (INTERIAN et al., 2011).

El desconocimiento de las propiedades anatómicas de la madera origina que en la mayoría de los casos se recurra al uso improvisado de las mismas, lo que repercute en un bajo rendimiento durante su vida útil, ya que no reúnen las especificaciones requeridas para las aplicaciones a las que se destina (PEREZ; QUINTANAR, 1994).

Para la madera de teca, se han realizado estudios sobre su caracterización anatómica, considerando diferentes edades y diferentes lugares de procedencia y algunos resultados se presentan en las siguientes líneas.

Pinto (2007) para madera de teca de 5, 10 y 30 años de edad en Brasil, encontró que no hay diferencias significativas entre el espesor de la pared celular ni en el ancho de fibra de las tres edades, así como la longitud de fibra de maderas de 10 y 30 años. Sin embargo, la longitud de fibra de la madera de 5 años fue menor que el caso de las maderas de 10 y 30 años.

Blanco et al. (2014) determinaron las dimensiones de fibra para la madera de teca de 13 años en Brasil, encontrando una longitud de fibra de 1,09 mm, ancho de fibra 25,76 μm y un espesor de pared celular de 4,76 μm . Los valores encontrados se encuentran dentro de la amplitud registrada para maderas latifoliadas.

Lima et al. (2011), Thulasidas y Bhat (2012) y Cardoso et al. (2009), para arboles de teca de diferentes edades y procedencias encontraron que las fibras tienen longitud corta y el espesor de pared delgada a gruesa, según IAWA (1989).

Moya et al. (2009) y Rodriguez-Anda et al. (2018), para el elemento vascular del vaso conductor de la madera de teca de diferentes edades y procedencias, indican que tienen una longitud pequeña, diámetro tangencial mediano y una frecuencia de poros poco numerosa. Así mismo, Moya et al. (2009) señalan que el diámetro del vaso se incrementa con la edad del árbol, siendo el vaso el elemento celular más afectado por la calidad de sitio donde crecen los árboles.

Chagas et al. (2014) mencionan que la madera de teca tiene parénquima axial paratraqueal escaso, radios multiseriados con cinco o más células en el ancho y radios homocelulares compuestos solo por células procumbentes.

2.2.3 Propiedades químicas

La madera se puede definir como un compuesto biopolímero tridimensional compuesto de un material interconectado de celulosa, hemicelulosa, lignina, pequeñas cantidades de extractivos y materiales inorgánicos. (ROWELL et al., 2012).

Se denomina holocelulosa a la combinación de celulosa y las hemicelulosas, que generalmente representan el 65–70% del peso seco de la madera, estos polímeros están compuestos de azúcares simples, principalmente, d-glucosa, d-manosa, d-galactosa, d-xilosa, l-arabinosa, ácido d-glucurónico y cantidades menores de otros azúcares como la l-ramnosa y la d-fucosa; estos polímeros son ricos en grupos hidroxilo que son los responsables de la absorción de humedad a través de enlaces de hidrógeno (ROWELL et al., 2012)

La celulosa es el compuesto químico orgánico más abundante sobre la tierra, es un glucano polímero de unidades de d-glucopiranosas que están unidas por enlaces β -(1, 4) glucosídicos conformando las cadenas de celulosa. El componente básico de la celulosa es la celobiosa, unidad de dos azúcares que se repiten en la cadena de celulosa, el número de unidades de glucosa en una molécula de celulosa se conoce como el grado de polimerización (GP). La celulosa es igual en todos los grupos taxonómicos de plantas (ROWELL et al., 2012)

La lignina es un polímero amorfo, altamente complejo, principalmente aromático y de unidades de fenilpropano. Todas las ligninas de madera consisten principalmente de tres componentes básicos de guaiacilo, restos de siringilo y de p-hidroxifenilo. Las ligninas de madera dura son principalmente "lignina de siringilo-guaiacilo", que se distribuyen por toda la pared secundaria de la pared celular, con mayor concentración en la lámina media (ROWELL et al., 2012).

Con respecto a la importancia de la lignina en la madera se puede indicar que el porcentaje de su contenido presente en las paredes celulares o en la lámina media contribuye de manera significativa en el comportamiento dimensional de la madera ante cambios de humedad, con relación negativa, es decir, a mayor porcentaje de lignina menor cambio dimensional (BARCENAS; DAVALOS, 1999).

Los extractivos son compuestos químicos en la madera que se pueden extraer con diferentes solventes, agua, tolueno-etanol o éter. Estos extractivos son un grupo de productos químicos de la pared celular que consiste principalmente de grasas, ácidos grasos, alcoholes grasos, fenoles, terpenos, esteroides, ácidos de resina, colofonia, ceras y muchos otros compuestos orgánicos menores. Estos productos químicos existen como monómeros, dímeros y polímeros, la mayoría de los extractivos se encuentran en el duramen y algunos son responsables del color, olor y durabilidad natural. Los ácidos grasos son ésteres con alcoholes como el glicerol y se encuentran principalmente en la albura (ROWELL et al., 2012).

En estudios relacionados a la madera de teca, de diferentes procedencias y edades, se han determinado su composición química, notándose cierta variabilidad en los resultados.

Moya et al. (2010), para madera de teca de 13 años de Costa Rica, determinaron su composición química de 59,65% de holocelulosa, 30,91% de lignina, 13,67% de extractivos totales y 0,78% de cenizas. Miranda et al. (2011),

para madera de teca de 50 a 70 años, encontraron su composición química de 56,40% de holocelulosa, 32,50% de lignina, 9,40% de extractivos totales y 1,7% de cenizas.

Chagas et al. (2014), para madera de teca de 12 años, determinaron su composición química de 64,01% de holocelulosa, 31,23% de lignina y 4,76% de extractivos.

Blanco (2012), para madera de teca de 13 años, determinó su composición química de 57,94% de holocelulosa, 32,47% de lignina, 8,95% de extractivos totales y 0,64% de cenizas. Por su parte, Loiola (2015) para madera de teca de 20 años, determinó su composición química de 56,29% de holocelulosa, 31,62% de lignina, 11,13% de extractivos y 0,97% de cenizas.

2.2.4 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de la madera reflejan su comportamiento como respuesta a la aplicación de fuerzas o cargas, dicho comportamiento puede variar, dependiendo del tipo de fuerza aplicada y de la estructura de la madera. El esfuerzo se define como la fuerza interna capaz de resistir las diferentes fuerzas externas que tienden a cambiar la forma o el tamaño de la pieza de madera (ARROYO, 1983).

De acuerdo a las fuerzas externas, la madera puede presentar resistencia, entre otras, a la tensión, a la compresión, al cizallamiento y a la flexión, que es la combinación de los tres primeros (ARROYO, 1983). La dureza no está exactamente considerada como una propiedad mecánica debido a los diversos métodos usados para su determinación y el diferente sentido físico de los valores que se obtienen (SUIREZS; BERGER, 2010). Este comportamiento de la madera constituye las propiedades que son de gran importancia para su uso como material de construcción, principalmente en atención de las exigencias relativas a los esfuerzos en su utilización estructural (LIMA et al., 1986).

Pinto (2007) señala que, la madera como material anisotrópico posee propiedades mecánicas únicas e independientes en las direcciones de los tres ejes ortogonales, por lo que sus propiedades varían de acuerdo a la dirección de la carga en relación a sus tres ejes. Así mismo, el autor indica que, el módulo de ruptura

(MOR) y el módulo de elasticidad (MOE) son dos parámetros de gran importancia en la caracterización tecnológica de la madera, brindando una buena aproximación de la resistencia real del material.

Moreschi (2014) define a la dureza como la resistencia que la madera ofrece a la penetración de cierto dispositivo, que puede ser una esfera, una aguja, un cilindro, etc. Diversos métodos son adoptados para la determinación de la dureza de materiales, como la dureza Janka, dureza Brinell y dureza Chalais-Mendon (KOLLMANN; COTÉ, 1968). Spavento et al. (2008) indican que el valor de la dureza es de suma importancia en la fabricación de pisos, o cualquier otro producto que durante su uso requiera resistencia al marcado o penetración. Cuanto mayor sea este valor, mejor será su aptitud de uso. En la TABLA 2, se presenta un listado de especies forestales de bosques naturales que se utilizan para la producción de pisos, en Perú, mostrando su masa específica básica y su dureza Janka.

TABLA 2 - VALORES DE DUREZA DE MADERAS DE ALGUNAS ESPECIES UTILIZADAS EN LA PRODUCCION DE PISOS DE MADERA EN PERÚ

ESPECIE	MASA ESPECÍFICA BÁSICA (g.cm ⁻³)	DUREZA NEWTON (N)
Ana caspi (<i>Apuleia leiocarpa</i>)	0,83	7.256,92
Bálsamo del Perú (<i>Myroxylon balsamum</i>)	0,78	12.846,71
Chontaquiro (<i>Diploptropis purpúrea</i>)	0,74	8.973,08
Estoraque (<i>Myroxylon peruiferum</i>)	0,78	11.209,00
Huayruro (<i>Ormosia coccínea</i>)	0,61	6.374,32
Palisangre negro (<i>Pterocarpus sp.</i>)	0,73	10.051,82
Pumaquiro (<i>Aspidosperma macrocarpon</i>)	0,67	7.237,31
Quina quina (<i>Pouteria torta</i>)	0,74	7.796,29
Quinilla colorada (<i>Manilkara bidentata</i>)	0,87	10.689,25
Shihuahuaco (<i>Dipteryx odorata</i>)	0,87	13.268,40
Tahuari (<i>Tabebuia serratifolia</i>)	0,92	13.758,73

Fuente: Chavesta (2005)

Para la madera de teca de plantaciones se ha estudiado su propiedad de dureza, en diferentes condiciones de edad y procedencia y algunos de dichos resultados se muestran a continuación. Josué e Imiyabir (2011) para madera de

teca de 15 años, encontraron una dureza Janka de 4.050,15 N; Blanco et al. (2014) para madera de teca de 13 años, determinaron una dureza de 4.658,16 N; Telles et al. (2017), para madera de teca de 11 años, indican una dureza Janka de 5.344,62 N y Gonçalves et al. (2015), para madera de teca de 10, 13 y 17 años, encontraron valores de dureza de 4.609,13 N, 5.844,76 N y 6.697,94 N, respectivamente. Entre los valores mostrados, se observa que la madera de teca de 17 años presenta una dureza similar a algunas de las maderas empleadas en la fabricación de pisos en Perú.

La norma NBR 7190 (ABNT, 1997) fija las condiciones generales que deben seguir en el proyecto, en la ejecución y en el control de las estructuras corrientes de madera, dentro de las cuales incluye a pisos. Para lo cual la norma establece categorías de calidad que están relacionadas a la resistencia y masa específica de la madera. Estas categorías se presentan en la TABLA 3, donde se establecen las condiciones mínimas de resistencia y rigidez que debe presentar la madera de una especie latifoliada para ser incluida en las respectivas categorías de resistencia.

TABLA 3 - CATEGORIAS DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ PARA MADERAS DE DICOTILEDONEAS A 12% DE CONTENIDO DE HUMEDAD INDICADO POR LA NBR 7190

CATEGORIAS	F_{c0k} (MPa)	F_{vk} (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (g.cm ⁻³)
C 20	20	4	9.500	0,50
C 30	30	5	14.500	0,65
C 40	40	6	19.500	0,75
C 60	60	8	24.500	0,80

FUENTE: NBR 7190 (ABNT, 1997).

NOTA: F_{c0k} = resistencia a la compresión paralela al grano característico; F_{vk} = Resistencia al cizallamiento característico; $E_{c0,m}$ = Módulo de elasticidad, medio, obtenido en el ensayo de compresión paralela al grano; $\rho_{bas,m}$ = masa específica básica media.

2.3 PISOS DE MADERA

Silva y Bittencourt (2002) definen al piso como una superficie cualquiera, continua o discontinua, construida con la finalidad de permitir el tránsito pesado o leve. Los problemas encontrados en el uso de la madera en procesos de fabricación de pisos están relacionados al conocimiento de cómo trabajar

correctamente ese material. En tal sentido, hay la necesidad de conocer su estructura y sus parámetros de usos para entender las relaciones que proporcionan los buenos resultados en calidad (MARCHESAN et al., 2013). Según Obino (1996), en la madera que será utilizada para la producción de pisos se debe buscar algunas características de calidad para obtener éxitos en su colocación en el mercado, esas características son la estabilidad de la madera después del secado, homogeneidad en cuanto a color y propiedades físico-mecánicas, aptitud para el acabado, buena adaptación a las líneas de productos compuestos como pisos estructurados y pisos ingenierizados.

La Norma Técnica Peruana NTP 251.150 2004 define al piso de madera como ensamblaje de elementos individuales de madera colocados sobre la estructura primaria o el falso piso; así mismo caracteriza a la pieza elemental del piso de madera. Por su lado Vignote y Martínez (2006) definen al parquet como piso de madera constituido por tablas o tablillas juntas unas a otras, pero no unidas entre sí, formando determinadas figuras geométricas y el piso de madera se sujeta al soporte mediante productos adhesivos.

Para la producción de pisos de madera en Perú, se utilizan especies de maderas duras provenientes de bosques naturales. Según SERFOR (2019) del Ministerio de Agricultura y Riego, las principales especies de madera utilizadas para la fabricación de parquet son: Aguanomasha (*Paramacherum ormosoide*), Ana caspi (*Apuleia sp.*), Capirona (*Calycophyllum spruceanum*), Estoraque (*Myroxylon balsamum*), Huayruro (*Ormosia sunkei*), Pumaquiro (*Aspidosperma cylindrocarpon*), Quina quina (*Pouteria torta*), Quinilla (*Manilkara bidentata*), Shihuahuaco (*Coumaruma odorata*) y Tahuarí (*Tabebuia sp.*).

2.3.1 Tipos de pisos de madera

La Norma Técnica Peruana NTP 251.150 2004 presenta algunas definiciones en relación a pisos de madera:

- Tablilla de parquet: elemento de revestimiento de suelo estrecho y generalmente corto.
- Tabla de revestimiento de piso: elemento alargado de madera maciza (de una sola pieza) de lados paralelos, elaborado con un grosor

regular, perfil(es) constante(s) con canto y cabezas machihembradas o no, que puede ensamblarse con otros elementos análogos. (definición aplicable a listoncillo, listón, parquetón y machihembrado clavado/clavado-pegado).

- Tabla preensamblada de revestimiento de piso: tabla de revestimiento de piso compuesto por elementos individuales encolados por sus cantos y/o ensamblados de cabeza (definición de machihembrado flotante).
- Elemento de parquet multicapa: elemento de constitución laminada consistente en una capa superior de madera maciza y de capa(s) complementaria(s) de madera o materiales derivados, encolados entre sí.
- Panel de parquet: unidad de colocación pre ensamblada compuesta de elementos de parquet. (definición de parquet mosaico).

2.3.2 Ensayos de simulación de pisos de madera en servicio

Para producir pisos de buena calidad, es necesario realizar ensayos que simulen las condiciones reales de los pisos en servicio (MARTINS et al., 2013), para lo cual la norma D2394-05 (*American Society for Testing and Materials* - ASTM, 2008) propone métodos estandarizados. Los métodos de ensayo presentados pueden ser utilizados para comparar diferentes pisos y su resistencia a cargas de servicio severas y poco severas (PADILHA, 2005).

Según Blanco et al. (2015), el ensayo de impacto de caída de esfera de acero simula el impacto de la caída de pequeños objetos sobre el piso de madera, el ensayo de cargas concentradas en pequeñas áreas permite medir la resistencia del piso de madera a la aplicación de cargas en pequeñas áreas como en el caso del taco alto de zapato femenino o pequeños objetos que ejercen carga concentrada sobre el piso, el ensayo de carga rodante busca obtener la medida de la resistencia del piso de madera cuando es sometido a cargas concentradas como el desplazamiento de muebles, cajas y otros objetos pesados y el ensayo de

abrasión evalúa la posibilidad de un piso de madera a ser utilizado para determinado tráfico de acuerdo con su resistencia a fuerzas abrasivas.

Cortez et al. (2014) indican que la abrasión es el resultado del desgaste superficial de un piso, determinado por su capacidad para resistir fricciones mecánicas, raspaduras o erosión, causadas por objetos o persona que se desplazan sobre su superficie. Así mismo hacen referencia que la abrasión es uno de los factores más importantes para determinar el rendimiento de la vida útil de los pisos.

Los coeficientes de rozamiento son determinantes para la elección de especies maderables para pisos, de acuerdo con el uso y el tráfico en el local donde será instalado el piso, siendo relevante que la madera no ofrezca una superficie resbaladiza (SILVA, 2019). Se ha observado que, cuanto mayor es el coeficiente de rozamiento menos resbaladiza y más seguro es la superficie del piso (OLIVEIRA, 2016).

Padilha et al. (2006) resaltan la necesidad de evaluar las características de los pisos y su comportamiento en uso, para proponer su adecuada utilización, lo que permitiría garantizar la calidad del piso.

Para madera de plantaciones de algunas especies se realizaron estudios relacionados a la simulación de pisos en servicio. Padilha et al. (2006) para siete clones de *Eucalyptus urophylla* de 8 años, con una densidad básica promedio de $0,527 \text{ g.cm}^{-3}$ y una dureza Janka promedio de 5.170 N, en ensayos de simulación de pisos en servicio determinaron valores promedios en ensayo de carga rodante (50 viajes) una depresión de 3,00 mm; en ensayo de cargas concentradas en pequeñas áreas (100 viajes) una depresión de 0,059 mm; en ensayo de caída de esfera a una altura de 180 cm una depresión de 0,468 mm; en ensayo de fricción, para madera con acabado, coeficientes de fricción estático y dinámico de 0,376 y 0,230, respectivamente. En base a estos resultados, los autores, indican que la madera de los siete clones presenta comportamiento mecánico ligeramente inferior que las maderas nativas usualmente empleadas en la fabricación de pisos.

Martins et al. (2013) para las especies *Eucalyptus clóeziana* de 22 años, *Eucalyptus microcorys* de 32 años y *Corymbia maculata* de 32 años determinaron, en el ensayo de caída de esfera, depresiones promedio de 0,265 mm, 0,213 mm y 0,206 mm respectivamente; en el ensayo de carga rodante (50 viajes), depresiones

promedio de 0,190 mm 0,154 mm y 0,128 mm respectivamente y en el ensayo de abrasión depresiones promedio de 0,055 mm, 0,073 mm y 0,076 mm, respectivamente, en base a estos resultados recomiendan a las tres especies para la fabricación de pisos de madera.

Blanco et al. (2015) para madera de teca de 13 años, con masa específica básica de $0,54 \text{ g.cm}^{-3}$, en ensayos de simulación de pisos en servicio determinaron valores promedios de depresión, para carga rodante 0,44 mm, para cargas concentradas en pequeñas áreas valores comprendido entre 0,0006 mm y 0,30 mm, para caída de esfera 0,50 mm, para abrasión a 500 ciclos 0,10 mm y en el ensayo de fricción, para madera sin acabado, determinaron coeficientes de fricción estático y dinámico promedio de 0,37 y 0,18, respectivamente. En base a estos resultados, los autores, indican que la madera de teca tiene resistencia moderada al esfuerzo de carga rodante, respuesta no satisfactoria (daños severos) al esfuerzo de cargas concentradas en pequeñas áreas, baja resistencia a la caída de objetos sobre el piso y satisfactoria resistencia a la abrasión; y recomiendan el uso de esta madera en pisos de tráfico leve, donde la madera no se someta a grandes esfuerzos.

Marchesan (2016) para madera de *Hovenia dulcis* de 18 años, con masa específica básica de $0,54 \text{ g.cm}^{-3}$ y dureza Janka de 5.852 N, en ensayos de simulación de pisos en servicio determinó valores promedio de depresión, para carga rodante 0,43 mm, para cargas concentradas en pequeñas áreas 0,11 mm, para caída de esfera 0,37 mm, para abrasión a 500 ciclos 0,08 mm y en el ensayo de fricción, para la madera sin acabado, determinó coeficientes de fricción estático y dinámico promedio de 0,47 y 0,25, respectivamente. Con estos resultados, la autora, indica que la madera de *H. dulcis* presenta baja resistencia para los esfuerzos máximos en ensayos de simulación de pisos en servicio, sin embargo, puede utilizarse en pisos de tránsito liviano o en lugares donde las cargas son bajas.

Oliveira et al. (2019) al evaluar la calidad de pisos comerciales elaborados con maderas de *Bowdichia nítida* (sucupira), *Dipteryx odorata* (cumarú), *Mimosa scabrella* (améndola) y *Tabebuia impetiginosa* (ipe), con masa específica de $0,897 \text{ g.cm}^{-3}$ $1,152 \text{ g.cm}^{-3}$ $0,621 \text{ g.cm}^{-3}$ y $1,067 \text{ g.cm}^{-3}$ respectivamente, en los ensayos de simulación de pisos en servicio encontraron valores promedios de depresión, para carga rodante de 0,105 mm, 0,110 mm, 0,205 mm y 0,458 mm para las

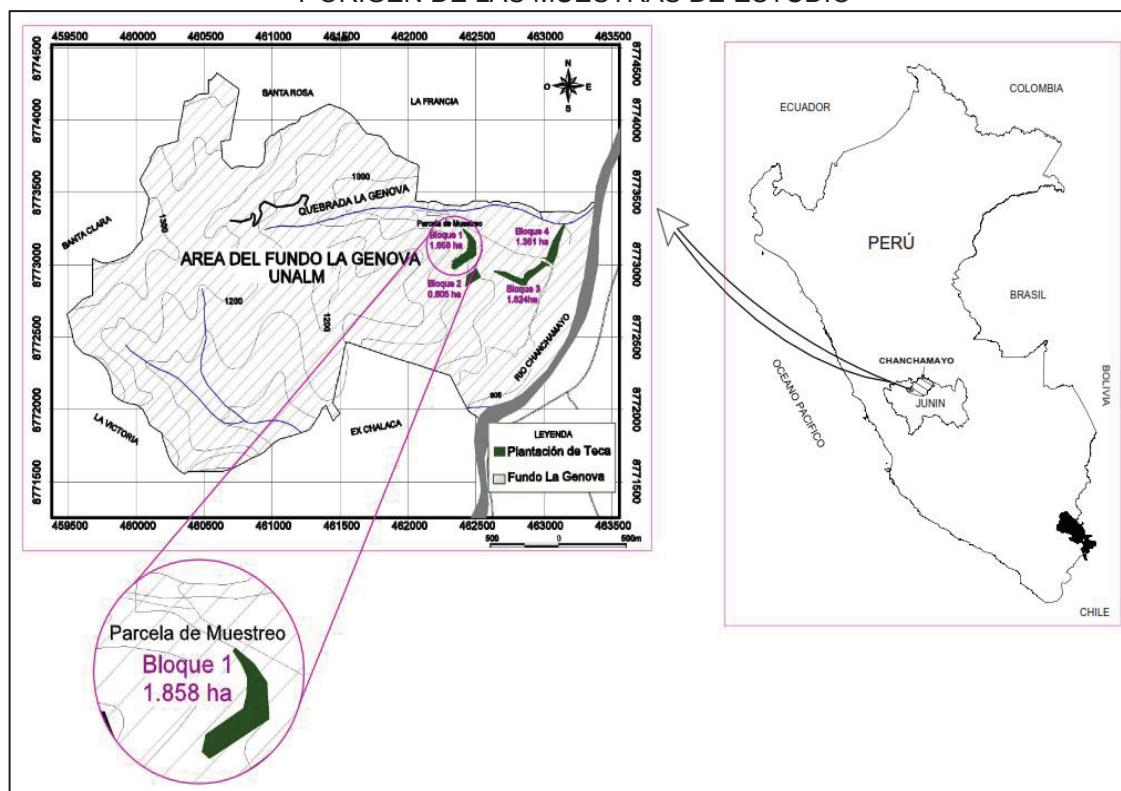
especies ipê, cumarú, sucupira y améndola respectivamente, para cargas concentradas en pequeñas áreas de 0,016 mm y 0,024 mm para las especies sucupira y améndola respectivamente, mientras que las especies lpe y cumarú no presentan depresiones y para caída de esfera de 0,159 mm, 0,129 mm, 0,262 mm y 0,358 mm para las especies ipe, cumarú, sucupira y améndola respectivamente. En base a sus resultados, los autores, proponen tres clases de calidad que servirán de referencia para comparaciones con otras maderas para uso en pisos.

3 MATERIAL Y METODOS

3.1 LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO

Los árboles empleados en el presente estudio fueron extraídos de una plantación con fines de investigación de 32 años, con espaciamiento de 2 x 2,5 m, instalado sobre un suelo que se caracteriza por ser franco arenoso con 61,15% de arena, 15,87% de limo y 22,98% de arcilla, con un pH de 5,24 y una porosidad de 55% (REYES, 2014). Propiedad de la Universidad Nacional Agraria la Molina, ubicado en el fundo “Génova”, en la Provincia de Chanchamayo, Departamento de Junín - Perú. (11°07'01" Latitud sur y 75°20'01" de longitud oeste), ubicación que se muestra en la FIGURA 3. La región se encuentra a una altitud promedio de 800 msnm, con una temperatura media anual de 18 °C y 30 °C y precipitación media anual de 1500 a 2000 mm (RODRIGUEZ, 2010).

FIGURA 3 - LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA PLANTACION DE *Tectona grandis* Y ORIGEN DE LAS MUESTRAS DE ESTUDIO



FUENTE: El autor (2020)

El estudio se llevó a cabo en los laboratorios de anatomía de la madera, de pulpa y papel, de secado de la madera y de tecnología de la madera del Departamento de Industrias Forestales – Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) y en el laboratorio de productos del Centro de Innovación Tecnológica de la Madera de Lima (CITE-madera), ubicado en distrito de Villa el Salvador (Perú).

3.2 SELECCIÓN DE ÁRBOLES Y OBTENCIÓN DE TROZAS

Para la determinación de las propiedades tecnológicas de la madera de *Tectona grandis*, fueron extraídos seis árboles, seleccionados en función de la necesidad de individuos con fuste recto, buen estado de sanidad y que representen aleatoriamente a la especie. A los árboles seleccionados se les midió el diámetro a 1,30 m del nivel del suelo (DAP) y la altura comercial (HC). Las dimensiones de los árboles seleccionados se muestran en la TABLA 4.

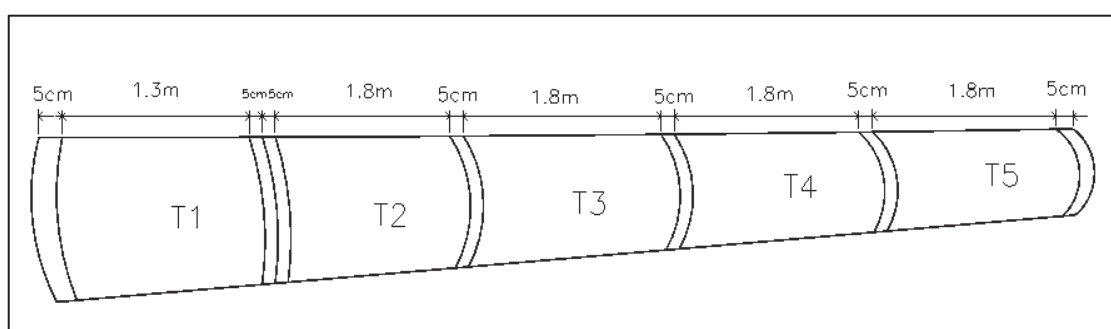
TABLA 4 - DIMENSIONES DE LOS ARBOLES DE *Tectona grandis* SELECCIONADOS PARA EL ESTUDIO

ARBOL N°	DAP cm	ALTURA COMERCIAL m	N° DE TROZAS OBTENIDAS
01	28	9,20	5
02	34	9,20	5
03	30	9,20	5
04	23	9,20	5
05	30	9,20	5
06	29	9,20	5
PROMEDIO	29	9,20	5
DESVIACION ESTANDAR	3,72	--	--
C.V. (%)	13	--	--
VALOR MINIMO	23	--	--
VALOR MAXIMO	34	--	--

NOTA: DAP: Diámetro a la altura del pecho; C.V: Coeficiente de variación

Luego del tumbado, de cada árbol se obtuvieron cinco trozas y siete discos de 50 mm de espesor, los discos se obtuvieron uno en la base, dos a la altura del DAP y uno en el extremo superior de cada troza siguiente. Estos discos fueron utilizados en la determinación del porcentaje de duramen y de albura, de la excentricidad de médula y de las propiedades anatómicas de la madera. Al obtener los discos, en forma simultánea se realizó el trozado correspondiente, como se muestra en la FIGURA 4.

FIGURA 4 - ESQUEMA DE LA OBTENCION DE TROZAS Y DISCOS DE *Tectona grandis*



FUENTE: El autor (2020)

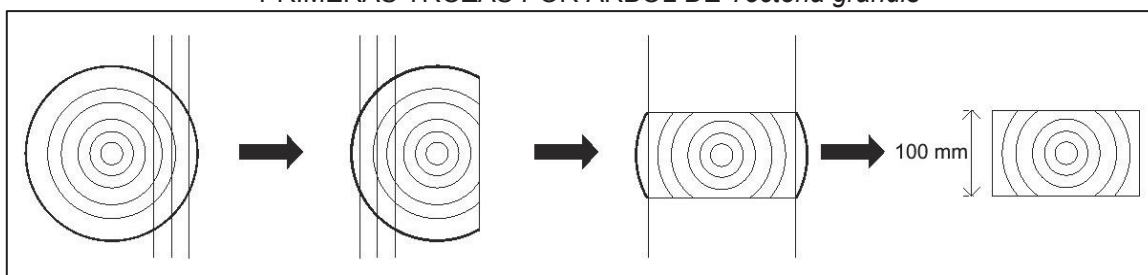
La primera troza, de la base, (T1) tuvo una longitud de 1,30 m y fue utilizada en la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Las siguientes trozas (T2, T3, T4 y T5) fueron de una longitud de 1,80 m cada una, a partir de estas trozas se obtuvieron las probetas para los ensayos de simulación de pisos de madera en servicio.

3.3 ASERRÍO DE TROZAS

Las trozas fueron aserradas, en un aserradero con sierra principal de cinta vertical con espesor de corte de 3 mm, diámetro de volante de 1000 mm, accionado por un motor de 40 hp, donde se definió el espesor final de las piezas de madera aserrada obtenidas. De cada troza de la base (T1) se obtuvo un bloque central de 100 mm de espesor x ancho variable mm x 1300 mm de longitud, a partir del cual se elaboraron las probetas de ensayos para las propiedades físicas y mecánicas de la madera, también se obtuvieron algunas tablas de 25 mm de espesor x ancho variable mm x 1300 mm de longitud, las cuales fueron utilizadas para la elaboración

de las probetas de ensayo de simulación de pisos en servicio. La secuencia seguida en el proceso de aserrío se muestra en la FIGURA 5.

FIGURA 5 - ESQUEMA DE CORTE UTILIZADO EN EL ASERRIO DE LAS PRIMERAS TROZAS POR ARBOL DE *Tectona grandis*

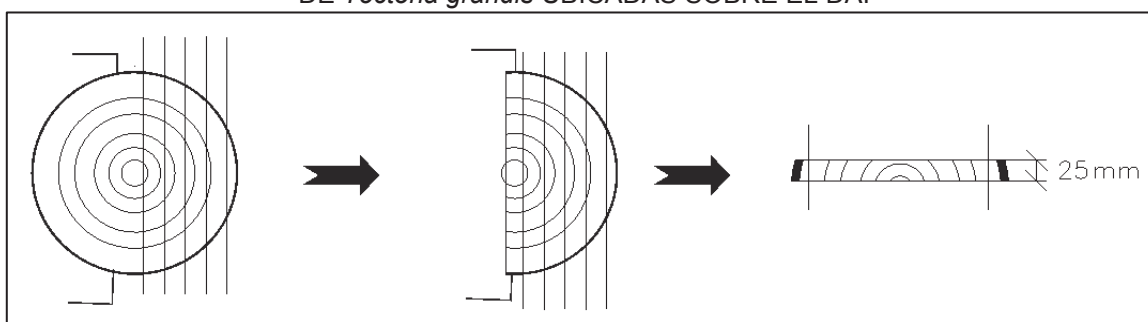


FUENTE: El autor (2020)

Las trozas restantes (T2, T3, T4 y T5) fueron aserradas siguiendo la secuencia mostrada en la FIGURA 6, obteniéndose tablas de 25 mm de espesor x ancho variable mm x 1800 mm de longitud. Las tablas obtenidas fueron utilizadas para la elaboración de probetas de ensayos de simulación de pisos en servicio.

En el proceso de aserrío de las trozas, de acuerdo a las condiciones descritas, se obtuvo un rendimiento de 45%.

FIGURA 6 - ESQUEMA DE CORTE SEGUIDO EN EL ASERRIO DE TROZAS DE *Tectona grandis* UBICADAS SOBRE EL DAP



FUENTE: El autor (2020)

Las piezas de madera aserrada, los bloques centrales y los discos, en condición húmeda, fueron trasladadas al campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina para su acondicionamiento, secado y posterior preparación de las probetas de ensayos.

Los bloques centrales fueron habilitados, en el laboratorio de tecnología de la madera de la UNALM, para la elaboración de las probetas de ensayos de las propiedades físicas y mecánicas de la madera, con fines de fabricación de pisos.

Las piezas de madera aserrada con 25 mm de espesor fueron secadas, en el laboratorio de secado de maderas de la UNALM, empleando un horno convencional, con el programa de secado moderado de la Junta Nacional del Acuerdo de Cartagena (JUNAC), la que se presenta en la TABLA 5.

TABLA 5 - PROGRAMA DE SECADO MODERADO: MADERAS LATIFOLIADAS DE SECADO LENTO Y/O PROPENSAS A DEFORMACIONES Y AGRIETAMIENTOS UTILIZADO PARA SECADO DE TABLAS DE *Tectona grandis*

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	TEMPERATURA (°C)		DEPRESIÓN TERMÓMETRO. HÚMEDO (%)	HUMEDAD RELATIVA (%)	HUMEDAD DE EQUILIBRIO (%)	POTENCIA DE SECADO
	Bulbo Seco	Bulbo. Húmedo				
Verde	50	47	3	85	16	3,43
50 – 41	55	49	6	72	13	3,46
40 – 31	60	51	9	62	10	3.50
30 – 26	65	52	13	51	7,5	3.73
25 – 21	70	54	16	45	6,5	3.53
20 - 10	70	50	20	35	5	3.00

FUENTE: JUNAC (1989)

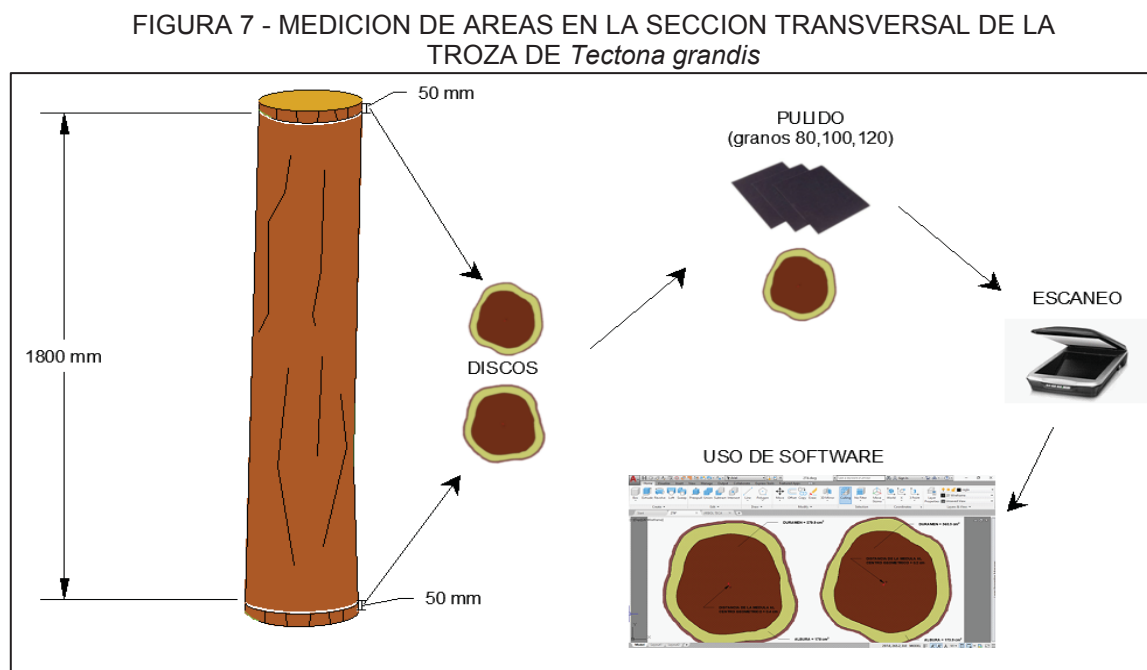
A partir de las tablas secas se prepararon las probetas para los ensayos de simulación de pisos en servicio.

3.4 CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LA MADERA

3.4.1 Proporción de albura y duramen y excentricidad de médula

Para las trozas obtenidas se midieron su longitud y sus diámetros sin corteza en cada extremo. En cada extremo de la troza se midieron las áreas de la sección correspondiente a duramen y de la sección total sin corteza, para la medición de las áreas se utilizaron los respectivos discos, de cada extremo, obtenidos durante el trozado. Los discos fueron pulidos y escaneados, incluyendo una distancia definida en la superficie de la sección, para su calibración en el

programa de medición. Las imágenes obtenidas fueron procesadas en Auto Cad y se obtuvo las áreas correspondientes a la sección total sin corteza y a la sección de duramen, identificado por diferencia de color. En la FIGURA 7 se muestra el procedimiento descrito.



FUENTE: El Autor (2020)

En base a estas medidas se determinó el volumen de madera sin corteza, y el volumen de madera de duramen, a partir de la fórmula de Smalian, según la siguiente relación:

$$V_{sc} = \left(\frac{S+s}{2} \right) \times L \quad (1)$$

Donde:

V_{sc} = Volumen de troza sin corteza (m^3)

S = Área de la sección de diámetro mayor de la troza sin corteza (m^2)

s = Área de la sección de diámetro menor de la troza sin corteza (m^2)

L = Longitud de la troza (m)

El volumen de madera de albura se determinó por diferencia del volumen total sin corteza y el volumen de madera de duramen. Para cada troza, se determinó la proporción de volumen de albura y de duramen en porcentaje.

Con el software Auto Cad se determinó el centro geométrico de cada disco y se determinó la distancia entre la médula y el centro geométrico, para determinar su excentricidad. La excentricidad de la médula se determinó de acuerdo con la siguiente relación:

$$EM = \frac{Lc}{dm} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

EM = Excentricidad de la médula en %

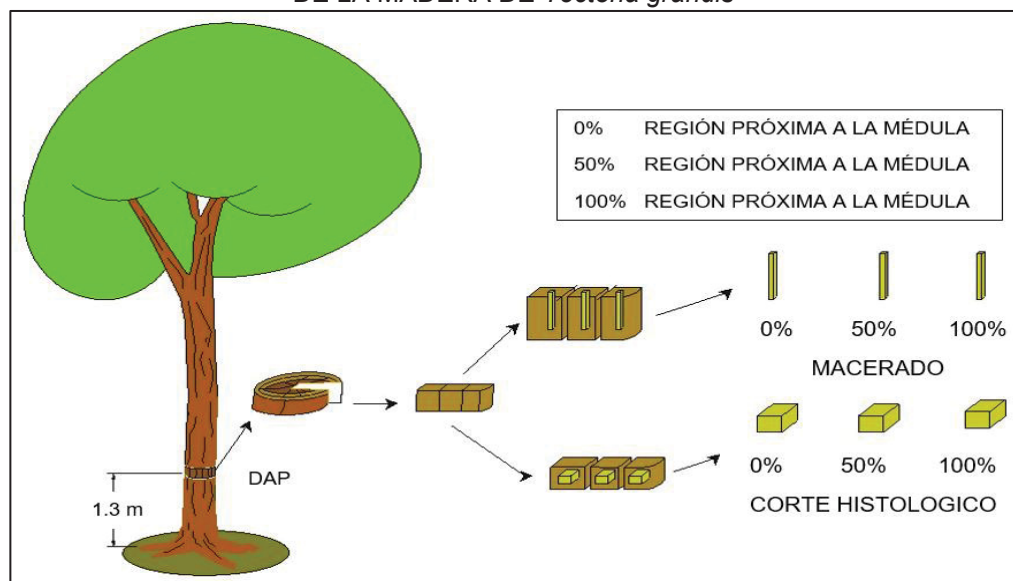
Lc = distancia del centro geométrico a la posición de la médula (mm) y

dm = diámetro medio de la sección correspondiente (mm)

3.4.2 Propiedades anatómicas

Para la caracterización anatómica de la madera se extrajo un disco, correspondiente al DAP, de cada uno de los seis árboles. De cada disco se obtuvieron tres bloques de madera de 1 cm³ (1 cm x 1 cm x 1 cm), orientados desde la médula hasta la región próxima a la corteza, distribuidos de manera equidistante, como se muestra en la FIGURA 8.

FIGURA 8 - TOMA DE MUESTRA PARA LA CARACTERIZACION ANATOMICA DE LA MADERA DE *Tectona grandis*



FUENTE: El autor (2021)

Al realizar cortes histológicos se obtuvieron cinco láminas permanentes por bloque. Los elementos anatómicos que conforman la madera fueron descritos de acuerdo con las orientaciones de IAWA (1989), para lo cual se efectuaron 25 lecturas por bloque, es decir, 75 mediciones por árbol de las siguientes variables: frecuencia total de radios por mm, longitud de radio, ancho y número de células según el tipo de radio, diámetro mayor y menor de poros. Para las evaluaciones, se tomaron microfotografías por medio de microscopio LEICA PM 500 con una cámara digital acoplada. Las mediciones necesarias se efectuaron con la ayuda del programa LAZ del microscopio LEICA PM 500.

Para la elaboración de las láminas de macerado para el análisis de las fibras se emplearon bloques de madera de 1 cm³, de los cuales se obtuvieron pequeños fragmentos de madera (astillas) los que fueron sumergidos en solución macerante de ácido nítrico (HNO₃) al 10%. Luego el material fue llevado a una estufa acondicionada a una temperatura de 60°C por un periodo de 25 minutos. Posteriormente el material se lavó en agua destilada y fue sumergido en una solución acuosa de safranina al 1%. Se lavó el material nuevamente con agua destilada y en seguida se montaron las láminas no permanentes sobre el portaobjetos. Finalmente, las laminillas cubreobjetos se colocaron sobre el material en estudio. Para las evaluaciones referentes a fibras se efectuaron 75 lecturas por árbol de las variables longitud y ancho de las fibras y ancho del lumen. El espesor de pared de fibra se determinó con la siguiente relación:

$$EP = \frac{Af - Al}{2} \quad (3)$$

Donde:

EP= espesor de pared de fibra (μm)

Af = ancho de fibra (μm)

Al = ancho de lumen (μm)

3.4.3 Caracterización química

Durante el proceso de aserrío, se tomó seis muestras de aserrín de aproximadamente 500 g por muestra, cada muestra corresponde a un árbol, que

fue tomada en forma aleatoria de una de las trozas de cada árbol. A partir de las muestras de aserrín seca, mezclada y homogeneizada se utilizó la fracción obtenida mediante tamiz 40/60 mesh, conforme a TAPPI lim 59. La caracterización química de la madera de teca, se llevó a cabo en el laboratorio de Pulpa y Papel de la Facultad de Ciencias Forestales UNALM. Se hicieron las siguientes determinaciones: de extractivos en alcohol benceno (TAPPI T605-59), de extractivos en agua caliente (TAPPI T207-om-93), de extractivos en agua fría (TAPPI T207-om-08), de lignina (TAPPI T222-om-88, de cenizas (TAPPI T211-om-93), de sílice (TAPPI T245-om-98), de holocelulosa (ASTM D-1104), de celulosa (ANSI/ASTM D1103), de la hemicelulosa se determinó por diferencia (Holocelulosa – Celulosa) y de pH (TAPPI 252-om-12).

3.4.4 Propiedades físicas

Los ensayos para la determinación de las propiedades físicas de la madera se realizaron siguiendo la norma D143-94 (ASTM, 2000) Métodos de prueba estándar para pequeños especímenes claros de madera. Se determinaron la masa específica básica, masa específica aparente y contracciones de la madera.

A partir de la primera troza (T1) de cada árbol, se elaboraron 10 probetas por árbol, correctamente orientados en corte tangencial y radial, con las dimensiones de 25 x 25 x 100 mm.

Las probetas fueron sumergidas en agua hasta su saturación (condición verde), una vez saturadas, utilizándose una balanza digital de 0,01 g de sensibilidad y un calibrador digital de resolución 0,01 mm, se midieron en condición verde el peso, las dimensiones en la sección tangencial, radial y longitudinal, así como el volumen por el método de inmersión. Luego las probetas saturadas fueron secadas gradualmente y colocadas en una cámara climatizada a condiciones de temperatura y humedad relativa (20 ± 2 °C) y ($60 \pm 5\%$) hasta estabilizarse en 12% de contenido de humedad (condición seco al aire), a este contenido de humedad se midieron el peso, las dimensiones en la sección tangencial, radial y longitudinal, así como el volumen por el método de inmersión. A continuación, las probetas secas al aire, fueron colocadas en estufa a 50 °C y posteriormente a 103 ± 2 °C hasta obtener peso constante (condición seco al horno), en esta nueva condición,

también se midieron el peso, las dimensiones en la sección tangencial, radial y longitudinal, así como el volumen por el método de inmersión. Con los datos obtenidos se determinó la masa específica básica, la masa específica aparente al 12% de contenido de humedad, las contracciones radial, tangencial, longitudinal y volumétrica, desde condición saturada hasta condición seco al aire (contracción normal) y desde condición saturada hasta condición seco al horno (contracción total). El cociente de la contracción tangencial total y la contracción radial total se definió como el coeficiente anisotrópico de la madera (T/R).

3.4.5 Propiedades mecánicas

Las probetas de ensayos para la determinación de las propiedades mecánicas de la madera se elaboraron a partir de los bloques de madera aserrada de 100 x ancho variable x 1.300 mm, los cuales fueron reaserrados en piezas menores y acondicionadas en cámara climatizada hasta alcanzar el contenido de humedad de 12%. A partir de esta madera estabilizada se elaboraron las probetas de ensayos para determinar sus propiedades mecánicas. Las probetas fueron dimensionadas y ensayadas según la norma D 143 - 94 (ASTM, 2000), para las propiedades de compresión perpendicular a las fibras, flexión estática, cizallamiento y dureza Janka. Por cada árbol se elaboró cinco probetas de ensayos por propiedad, por lo que se obtuvo en total 120 probetas. Las probetas fueron sometidas a los ensayos correspondientes en el laboratorio de tecnología de la madera de la UNALM, empleándose la máquina universal de ensayos Tinius Olsen, con 60.000 Lb de capacidad y sus accesorios correspondientes. Los resultados se presentan en el sistema internacional de medidas (SI), es decir, las propiedades de flexión estática, cizallamiento y compresión perpendicular a las fibras en megapascals (MPa) y la dureza Janka en Newton (N).

3.5 ENSAYOS DE SIMULACIÓN DE PISOS DE MADERA EN SERVICIO

Las probetas de ensayo se agruparon en dos grupos de acuerdo con su composición, el primer grupo corresponde a probetas compuesto por duramen y albura en diferente proporción y el segundo grupo corresponde a probetas

compuesto de 100% de duramen, sin acabado y con acabado. Al 50% del total de probetas de cada ensayo se les aplicó el acabado con barniz de poliuretano DD, en forma manual siguiendo las indicaciones del fabricante. Los ensayos se realizaron según el procedimiento descrito por Padilha et al. (2006), Martins et al. (2013) y Marchesan (2016) en base a la norma D2394-05 (ASTM, 2008). Los ensayos de abrasividad, caída de esfera de acero y de coeficientes de fricción se realizaron en los laboratorios del Centro de Innovación Tecnológica de la Madera (CITEMADERA). Y los ensayos de carga rodante y cargas aplicadas en pequeñas áreas se realizaron en el laboratorio de productos forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

En el CUADRO 1 se detallan las características de los tratamientos de acabado, aplicados a las probetas de ensayo de simulación de pisos de madera de *T. grandis* en servicio. Ensayos de carga rodante, cargas concentradas en pequeñas áreas, abrasividad, impacto de caída de esfera de acero y de rozamiento estático y dinámico.

CUADRO 1 - CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO DE ACABADO APLICADO A MADERA DE <i>Tectona grandis</i>	
TIPO DE ACABADO	DESCRIPCIÓN
Sin acabado	La superficie de la madera fue cepillada y lijada con secuencia de granulometría lija 120 a lija 200. Sin acabado.
Con Barniz DD	Formado por dos partes, Parte A: BARNIZ D/D A5 y Parte B: PRODUCTO D/D B5; es un producto bicomponente elaborado con resinas de poliuretano. La parte A es de acabado brillante y de color transparente, con un peso específico de 1,03 a 1,09 con 28 a 32% de sólidos en volumen de mezcla. La parte B es de color transparente con un peso específico de 1,02 a 1,08. En la preparación de mezcla se emplea como diluyente al Disolvente D/D, empleando 1 vol. de parte A, 1 vol. de parte B y 1 vol. de disolvente. La aplicación se hizo con brocha y a tres pasadas (tres manos).
FUENTE: TECNOQUIMICA S.A. (www.tekno.com.pe)	

3.5.1 Ensayo de carga rodante

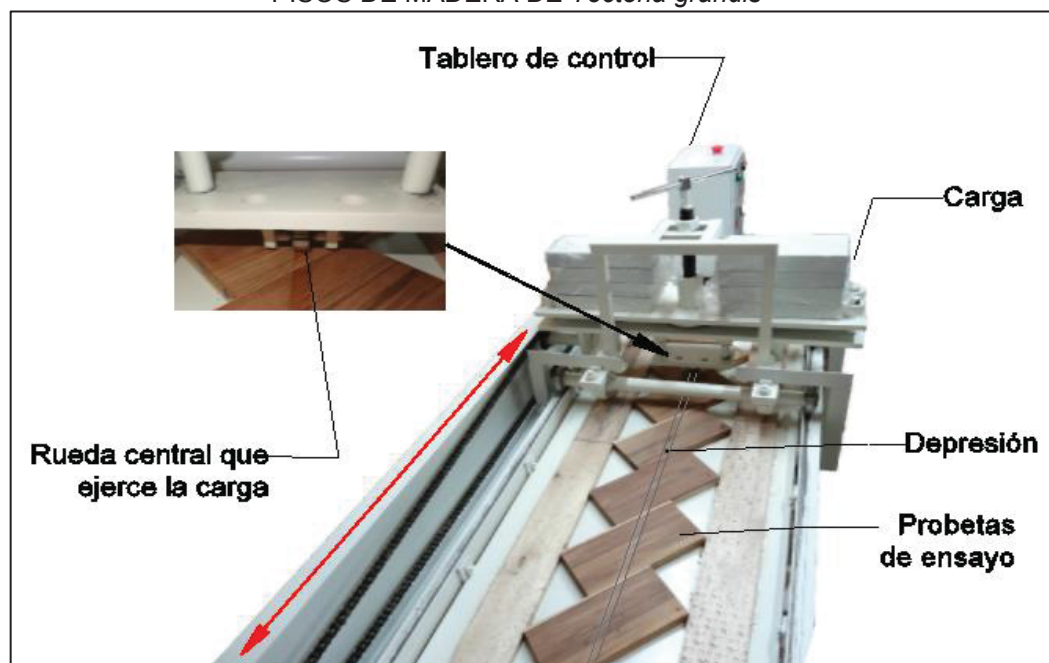
Para el ensayo de carga rodante se emplearon en total 120 probetas, con dimensiones de 20 x 115 x 240 mm (espesor x ancho y largo), distribuidas en 60 probetas de 100% de duramen y 60 probetas con composición variable de albura y duramen. Por cada tipo de composición se utilizaron 30 probetas con acabado y 30

probetas sin acabado. El equipo utilizado está compuesto por una mesa de 1750 x 400 mm (largo x ancho), con una pista longitudinal y un carro que se desliza sobre rieles, accionado por un motor eléctrico. El carro tiene una rueda central que transmite una carga de 890 N, la cual pasa sobre las probetas, debidamente acondicionadas, a una velocidad de $0,06 \text{ m.s}^{-1}$ durante 10, 25 y 50 viajes, ocasionando una depresión continua en las probetas, lo que se puede observar en la FIGURA 9. Un viaje corresponde a un movimiento de ida y vuelta.

Las probetas se colocaron sobre la mesa con una inclinación de 45° del eje axial de las fibras en relación a la roldana (rueda central). Las mediciones de la profundidad de la depresión provocada se hicieron, con la ayuda de un reloj comparador con precisión de 0,001 mm, como se muestra en la FIGURA 10.

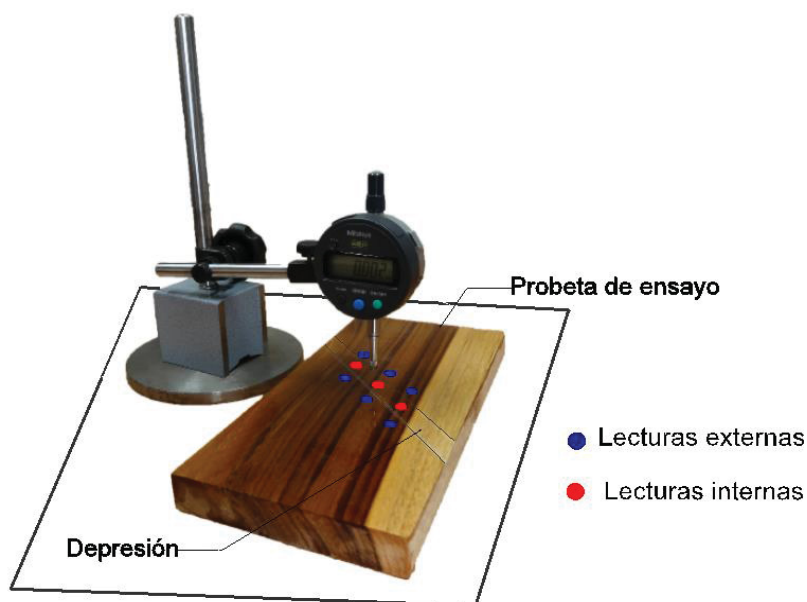
En las mediciones, fueron obtenidas tres lecturas internas y seis lecturas externas, distribuidas a ambos lados de los puntos interiores. La depresión fue determinada por la diferencia de los promedios de dichas depresiones, según la ecuación 4.

FIGURA 9 - EQUIPO UTILIZADO PARA EL ENSAYO DE CARGA RODANTE EN PISOS DE MADERA DE *Tectona grandis*



FUENTE: El autor (2020)

FIGURA 10 - MEDICION DE LAS DEPRESIONES EN EL ENSAYO DE CARGA RODANTE EN PISOS DE *Tectona grandis*



FUENTE: El autor (2020)

$$D = M_{Le} - M_{Li} \quad (4)$$

Donde:

D = Depresión (mm)

M_{Le} = Media aritmética de las lecturas externas (mm)

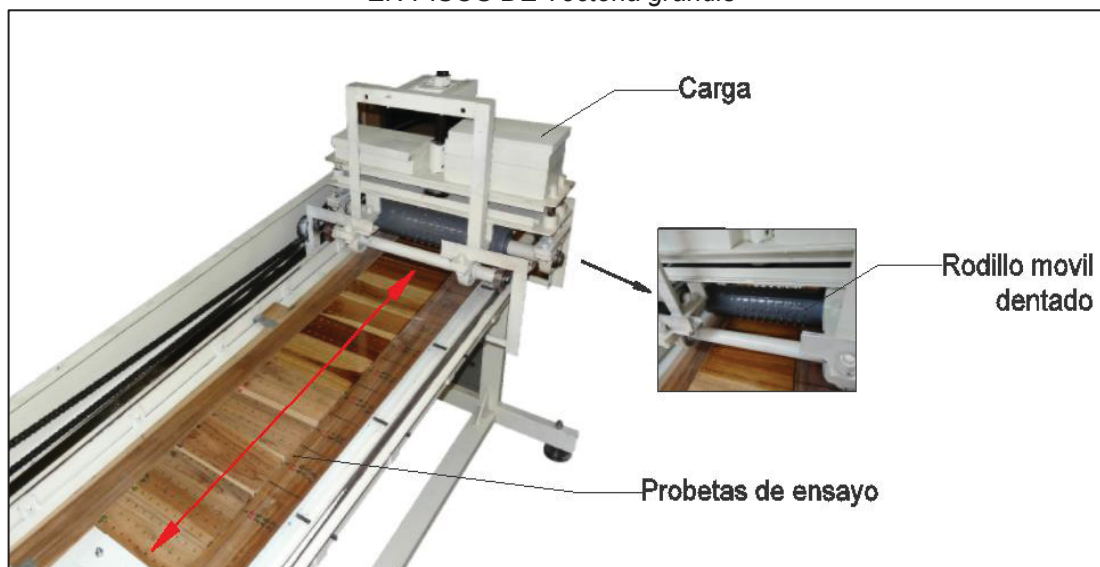
M_{Li} = Media aritmética de las lecturas internas (mm)

3.5.2 Ensayo de cargas concentradas en pequeñas áreas

Para el ensayo de cargas puntuales se emplearon en total 192 probetas, distribuidas en 96 probetas de 100% de duramen y 96 probetas con composición variable de albura y duramen. Para cada grupo, 48 probetas con acabado y 48 probetas sin acabado. Las probetas tuvieron las dimensiones de 15 x 115 x 240 mm (espesor x ancho y largo). Las probetas sin acabado y con acabado fueron ensayadas en una sola cara. El equipo empleado está compuesto por una mesa de 1430 x 240 mm (largo x ancho), con un rodillo móvil de 150 x 235 mm (diámetro x longitud) que contiene 225 dientes de formato cilíndrico con 5 mm de diámetro, accionado por un motor eléctrico. Durante el ensayo, nueve dientes son apoyados

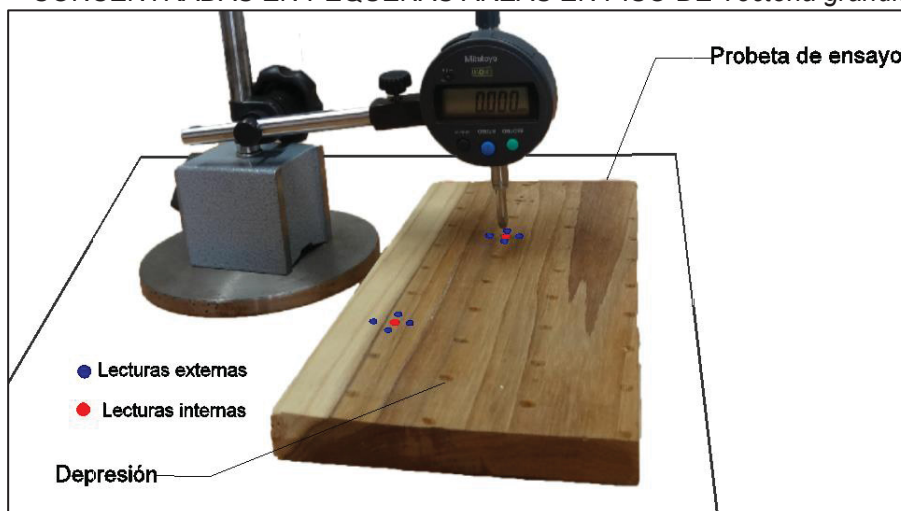
en forma simultánea sobre la probeta, conforme a la rotación del rodillo dentado a una velocidad de $0,06 \text{ m.s}^{-1}$ con una carga total de 890 N, el que se desplaza sobre las probetas debidamente acondicionadas durante 50 y 100 viajes (FIGURA 11).

FIGURA 11 - EQUIPO DE ENSAYO DE CARGAS CONCENTRADAS EN PEQUEÑAS AREAS EN PISOS DE *Tectona grandis*



FUENTE: El autor (2020)

FIGURA 12 - MEDICION DE LAS DEPRESIONES EN EL ENSAYO DE CARGAS CONCENTRADAS EN PEQUEÑAS AREAS EN PISO DE *Tectona grandis*



FUENTE: El autor (2020)

Las mediciones de las depresiones provocadas se hicieron sobre tres depresiones por cada probeta, con la ayuda de un reloj comparador (0,001 mm de precisión), siendo las mismas depresiones para los 50 y 100 viajes, cada viaje

corresponde a un movimiento de ida y vuelta. Para cada depresión seleccionada, se hicieron cuatro mediciones externas y una medición interna (centro de la depresión) y la magnitud de la indentación fue calculada por la diferencia entre el promedio de las lecturas externas y la lectura interna, según la ecuación 5. (FIGURA 12).

$$E = M_{Le} - L_i \quad (5)$$

Donde:

E = Indentación (mm)

M_{Le} = Media aritmética de las lecturas externas (mm)

L_i = Lectura interna (mm)

De acuerdo con la norma D2394-05 (ASTM, 2008), se evalúa el daño en forma cualitativa con posibles resultados de: menor importancia, moderado, severo o completo. Sin embargo, en este estudio se hizo una adaptación de la norma midiéndose la profundidad de la indentación siguiendo la metodología descrita por Padilha (2005), Martins (2008) y Marchesan (2016)

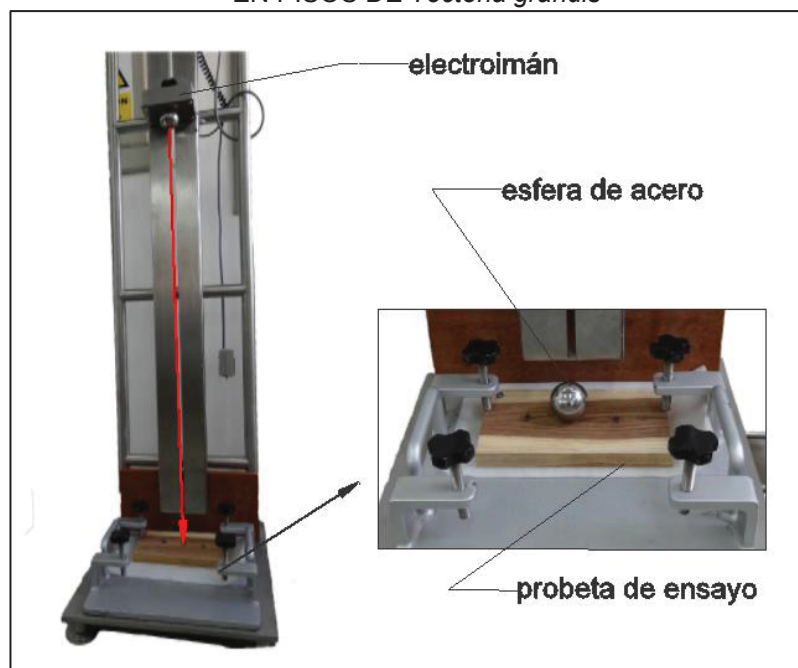
3.5.3 Ensayo de impacto de caída de esfera de acero

Para el ensayo de impacto de caída de esfera de acero se emplearon en total 288 probetas, distribuidas en 144 probetas de 100% de duramen y 144 probetas de composición variable de albura y duramen, haciendo grupos de 72 probetas sin acabado y 72 probetas con acabado. Las probetas tuvieron las dimensiones de 20 x 140 x 240 mm (espesor x ancho y largo). Las probetas sin acabado fueron ensayadas en ambas caras haciendo un total de 288 ensayos. Las probetas con acabado fueron ensayadas en el lado con acabado, con un total de 144 ensayos.

El equipo empleado para este ensayo está compuesto por una torre dividida en 12 alturas distanciadas en 150 mm, iniciando la primera división a 150 mm y la última a 1800 mm, el equipo posee una base fija, en la parte inferior, donde se coloca la probeta a ensayar y una plataforma móvil, en sentido vertical, donde es fijado con un electroimán una esfera de acero de 51 mm de diámetro y una masa

de 535 g. Desde cada altura la esfera cayó tres veces sobre una superficie de cada probeta, como se puede observar en la FIGURA 13.

FIGURA 13 - EQUIPO DE ENSAYO DE IMPACTO DE CAIDA DE ESFERA DE ACERO EN PISOS DE *Tectona grandis*



FUENTE: El autor (2020)

Este ensayo simula la caída de objetos sobre el piso de madera desde diversas alturas, el cual consistió en liberar la esfera de acero del electroimán desde 12 alturas diferentes sobre la probeta de ensayo. La base del electroimán se desplaza verticalmente de acuerdo a la altura requerida. Con la ayuda de una hoja de papel carbón se facilitó la ubicación del área de impacto de caída de la esfera, sobre la cual se hizo la medición de la depresión correspondiente, con la ayuda de un reloj comparador con precisión de 0,001 mm, midiéndose cuatro puntos externos y un punto interno central para cada depresión, como se puede observar en la FIGURA 14. El valor de la depresión fue calculado por la diferencia entre el promedio de las medidas externas y la medida interna, de acuerdo a la ecuación 6.

$$D = M_{Le} - L_i \quad (6)$$

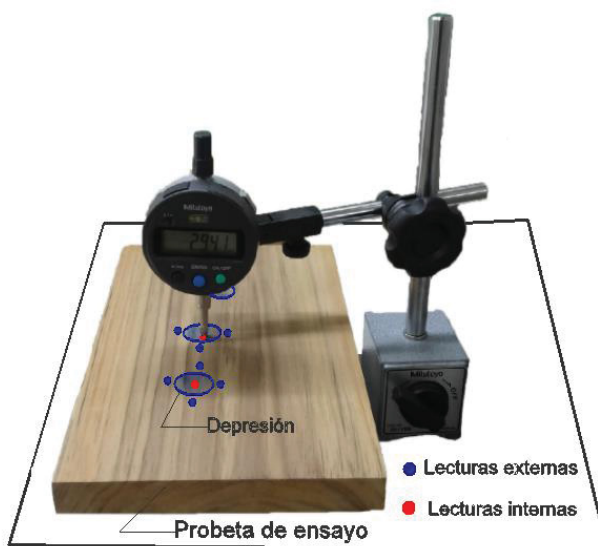
Donde:

D = Depresión (mm)

M_{Le} = Media aritmética de las lecturas externas (mm)

L_i = Lectura interna (mm)

FIGURA 14 - MEDICION DE LAS DEPRESIONES ORIGINADAS POR EL IMPACTO DE CAIDA DE LA ESFERA DE ACERO EN PISOS DE *Tectona grandis*



FUENTE: El autor (2020)

Al graficar la curva de tendencia de las depresiones en función a la altura de caída de la esfera, se tomó la intersección de la curva para una altura de caída de 1.800 mm como el índice de resistencia a la indentación, indicada por la Norma D2394-05 (ASTM, 2008).

3.5.4 Ensayo de abrasividad

Para este ensayo se emplearon un total de 108 probetas, distribuidas en 54 probetas de 100% de duramen y 54 probetas con composición variable de albura y duramen. Por cada composición, 27 probetas fueron sin acabado y 27 probetas fueron con acabado. Las probetas tuvieron las dimensiones de 10 x 95 x 95 mm (espesor x ancho y largo). El equipo que se empleó para este ensayo fue el Taber Abraser modelo 5135, que está compuesto por brazos de sustentación del disco abrasivo, brazo de aspiración de partículas, cargas de 500 g y plataforma de fijación de las probetas. El ensayo consistió en someter a las probetas a 500 ciclos de rotación de los discos abrasivos modelo H-18 (FIGURA 15)

Este ensayo simula la fricción de elementos abrasivos sobre la superficie de la madera. Al culminar el ensayo se midieron ocho puntos en el área que sufrió

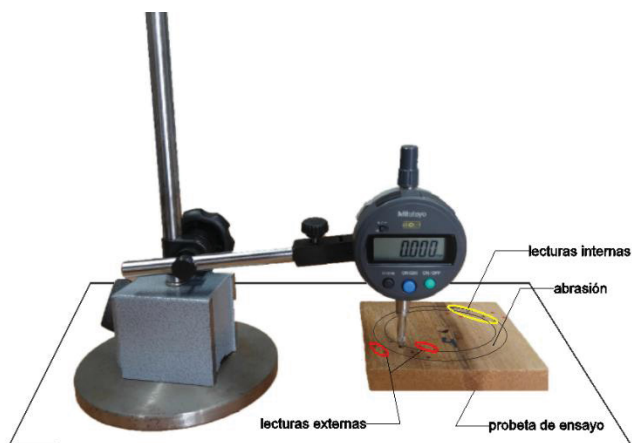
la abrasión (interno) y ocho puntos en el área normal de la probeta (externo), con el apoyo del reloj comparador con precisión de 0,001 mm (FIGURA 16).

FIGURA 15 - EQUIPO TABER ABRASER UTILIZADO PARA EL ENSAYO DE ABRASIVIDAD EN PISOS DE *Tectona grandis*



FUENTE: El autor (2020)

FIGURA 16 - MEDICION DE LA DEPRESION ORIGINADA POR EL ENSAYO DE ABRASIVIDAD EN PISOS DE *Tectona grandis*



FUENTE: El autor (2020)

La magnitud de la depresión fue calculada siguiendo la metodología de Martins (2008) y Marchesan (2016) como la diferencia de los promedios aritméticos de las lecturas externas e internas, de acuerdo con la ecuación 7.

$$Dabras = \frac{(Le1-Li1)+(Le2-Li2)+\dots+(Le8-Li8)}{8} \quad (7)$$

Donde:

Dabras = Depresión causada por el ensayo de abrasividad (mm)

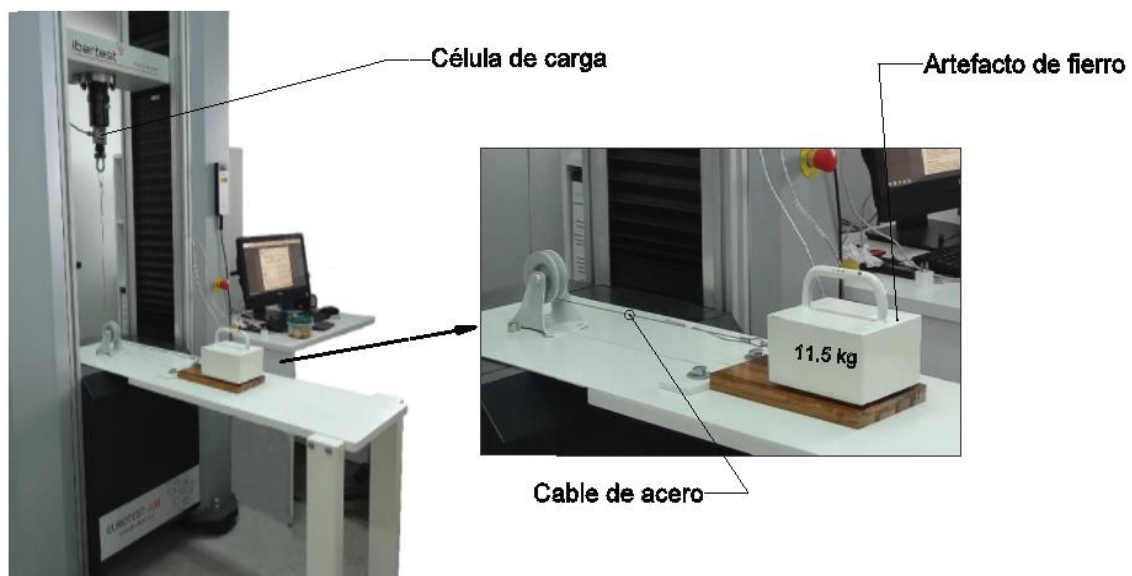
Le_i = Lectura externa (mm)

Li_j = Lectura interna (área de abrasión) (mm)

3.5.5 Ensayo de rozamiento estático y dinámico

Para este ensayo se emplearon en total 140 probetas, distribuidas en 70 probetas de 100% de duramen y 70 probetas con composición variable de albura y duramen, siendo por cada composición, 35 probetas sin acabado y 35 probetas con acabado. Las probetas tuvieron las dimensiones de 20 x 140 x 240 mm (espesor x ancho y largo). El equipo empleado para este ensayo fue la máquina universal de ensayos unido a un tablero horizontal que contiene una polea de cambio de sentido de la fuerza vertical a horizontal y soporta a la probeta de ensayo, como se muestra en la FIGURA 17.

FIGURA 17 - EQUIPO UTILIZADO EN EL ENSAYO DE ROZAMIENTO ESTATICO Y DINAMICO EN MADERA DE *Tectona grandis*



FUENTE: El autor (2020)

El ensayo se realizó empleando un bloque rectangular de fierro de 11,5 Kg unido con un cable de acero a la máquina de ensayo. La base del bloque de fierro fue revestida de una pieza de cuero (suela de zapato) con medidas de 102 x 114 mm. El ensayo simula el rozamiento causado por el tránsito de personas sobre el piso de madera, es decir, la facilidad o dificultad en deslizar la suela de zapato en la superficie con o sin acabado. Durante el ensayo el equipo registró la fuerza necesaria para dar movimiento al bloque de fierro sobre la probeta a una velocidad de $1,7 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ (rozamiento estático) y la fuerza media para mantener el bloque de fierro en movimiento a una velocidad de $51 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ (rozamiento dinámico). El coeficiente de rozamiento estático se determinó dividiendo la fuerza máxima entre la masa del bloque de fierro y el coeficiente de rozamiento dinámico se determinó dividiendo la fuerza media entre la masa del bloque

3.6 ANALISIS ESTADÍSTICO

Para la realización del análisis estadístico se emplearon programas estadísticos y planilla electrónica. Como primer paso se hicieron las pruebas de normalidad (Anderson–Darling) y homogeneidad de variancia (Bartlett) de las variables en estudio. Para la simulación de piso en servicio se empleó un diseño bloque completo al azar (DBCA) con dos bloques y dos tratamientos, los bloques corresponden a madera de albura y duramen en diferente proporción y madera de sólo duramen, mientras que los tratamientos corresponden a piso sin acabado y piso con acabado de barniz DD. Luego se procedió con el análisis de variancia (ANOVA) correspondiente. También se determinó el coeficiente de correlación de Pearson (r) para las variables masa específica y dureza Janka de la madera, así como para las variables altura de caída de la esfera de acero y la depresión causada en la probeta por su caída.

4 RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LA MADERA

4.1.1 Excentricidad de médula y proporción de albura y duramen

En la TABLA 6 se presenta los valores promedio de excentricidad de médula y proporción de duramen y albura de los árboles de teca evaluados.

TABLA 6 - VALORES PROMEDIO DE EXCENTRICIDAD DE MÉDULA Y DE PROPORCIÓN DE ALBURA Y DURAMEN DE *Tectona grandis* DE UNA PLANTACIÓN EN PERÚ

CARACTERISTICA	PROMEDIO (%)	MÍNIMO (%)	MAXIMO (%)	CV (%)
Excentricidad de médula	4,47	0,40	13,30	59,93
Proporción de albura	40,36	30,93	51,89	14,94
Proporción de duramen	59,64	48,11	69,07	10,11

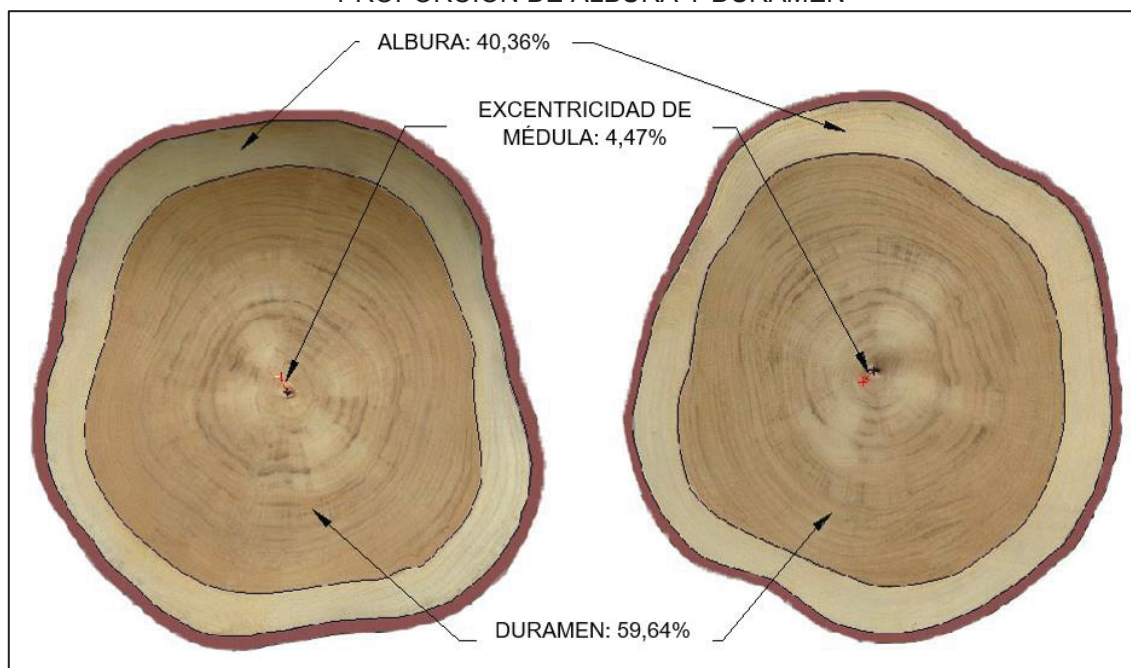
Nota: CV: coeficiente de variación

La excentricidad de médula (EM) cuantifica la distancia entre la médula y el centro geométrico de la sección transversal del árbol, expresado como un porcentaje del diámetro de la correspondiente sección transversal. La excentricidad de médula encontrada en el presente estudio (TABLA 6) fue 4,47% con un coeficiente de variabilidad de 60%, que indica una alta heterogeneidad.

Rosso y Ninin (1998) indican que la excentricidad de médula es una característica en los árboles de teca, que se ve influenciada por la densidad de plantación en forma inversa, es decir, a mayor densidad ocurre una menor excentricidad de médula. Para el presente estudio se utilizó árboles provenientes de una plantación con un espaciamiento inicial de 2 x 2,5 m, que corresponde a una alta densidad de plantación, que podría estar relacionado con el bajo promedio de excentricidad encontrado en este estudio. En la FIGURA 18 se puede observar en forma gráfica la excentricidad de médula promedio, de este estudio.

Blanco et al. (2014) indican que la excentricidad de médula se relaciona con diversos factores tales como la inclinación del terreno, efecto del viento y factores genéticos. Por otro lado, Ferreira *et al.* (2008) indican en forma general que valores altos de excentricidad sugieren la presencia de madera de tensión.

FIGURA 18 - SECCION TRANSVERSAL DE LOS EXTREMOS DE UNA TROZA DE *Tectona grandis* MOSTRANDO LA EXCENTRICIDAD DE MEDULA Y LA PROPORCIÓN DE ALBURA Y DURAMEN



FUENTE: El Autor (2020)

La excentricidad de médula encontrada en el estudio es menor a lo encontrado por Blanco *et al.* (2014) de 9% para *Tectona grandis* de 13 años en el Estado de Minas Gerais (Brasil), y es similar a lo encontrado por Rigg y Moya (2018) de 5% a la altura media del fuste para *Cedrela odorata* de siete años, manejado en un sistema agroforestal.

La excentricidad de médula encontrada en el presente estudio puede ser considerado como baja y permite afirmar que la madera de teca plantada en la zona de Chanchamayo (Perú) presenta escasa madera de reacción (tensión), característica favorable para el secado y la transformación mecánica de dicha madera a pisos de madera maciza.

En cuanto a la proporción de duramen, se encontró que el 60% del volumen comercial sin corteza, corresponde a duramen y el 40% corresponde a albura, como se muestra en la FIGURA 18.

Camino (2013), señala que las propiedades de la madera de teca corresponden al duramen, lo cual se ve reflejado en su valor comercial. Con el fin de estimar el contenido de duramen en plantaciones de teca, se han realizado estudios en diferentes países y a diferentes edades de la plantación, observándose

que el porcentaje de duramen, en cada caso, tiene un comportamiento particular. El resultado del presente estudio es aproximado a la de México en madera de 9 años con 57% de duramen (YPUSHIMA, et al. 2014), a la de Brasil de 13 años con 51% de duramen (BLANCO, et al. 2013), a la de Malaysia de 15 años con 55% de duramen (JOSUE e IMIYABIR, 2011), a la de Ecuador de 22 años con 59% de duramen (CRESPO, et al. 2008) y a la de Costa Rica de 30 y 47 años, con 55% y 60%, respectivamente (PEREZ y KANNINEN, 2003).

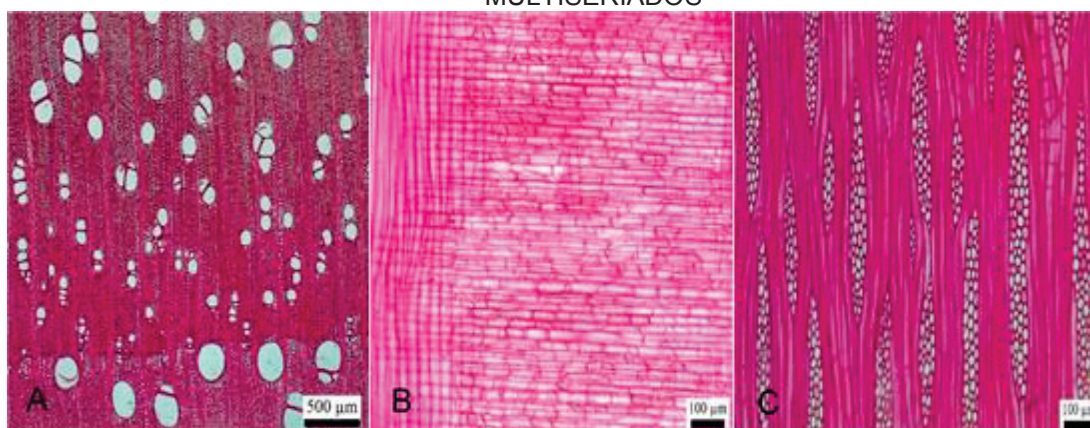
Pérez y Kanninen (2003) indican que la proporción de duramen se encuentra influenciada, en relación directa, por la edad y en relación inversa, por la densidad de la plantación, para el presente estudio se utilizó árboles de teca de 32 años, procedente de una plantación con espaciamiento inicial de 2 x 2,5 m.

La proporción de volumen de duramen encontrado en este estudio se encuentra dentro del rango de los resultados obtenidos por otros autores, según la edad de la plantación. Esta característica es de gran importancia en la calidad de la madera teca para la fabricación de pisos, por cuestiones de durabilidad natural y de apariencia visual llamativa, por el contraste de color de albura y duramen.

4.1.2 Propiedades anatómicas

En la FIGURA 19 se muestra la estructura anatómica microscópica de la madera de *T. grandis* en corte transversal, radial y tangencial.

FIGURA 19 - CORTES ANATOMICOS DE LA MADERA DE *Tectona grandis*. A) POROSIDAD SEMICIRCULAR; B) RADIO FORMADO POR CELULAS PROCUMBENTES; C) RADIOS MULTISERIADOS

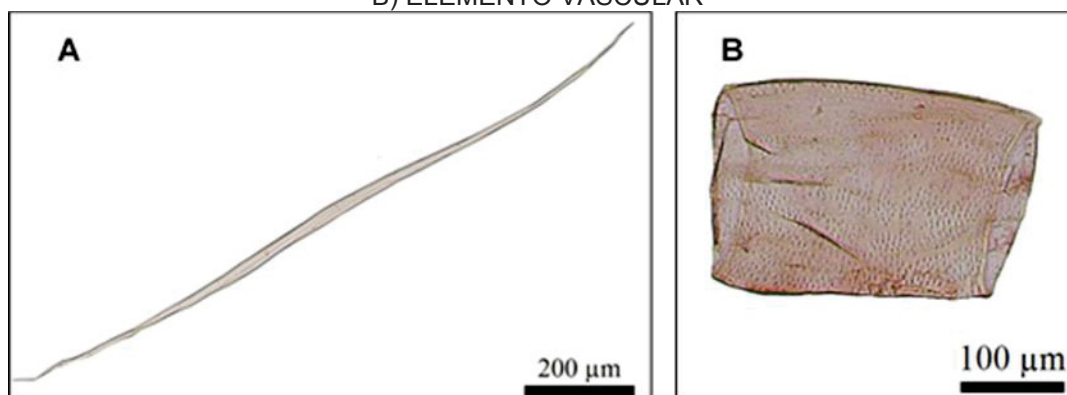


FUENTE: El autor (2020)

La caracterización anatómica de la madera de *T. grandis* fue realizada de acuerdo con lo establecido por la *International Association of Wood Anatomists* (IAWA, 1989), observándose las siguientes características:

- a) anillos de crecimiento claramente diferenciados;
- b) grano recto, ligeramente entrecruzado;
- c) Textura media, brillo medio y veteado de arcos superpuestos en corte tangencial;
- d) porosidad semicircular con arreglo radial, que no cambia entre anillos de crecimiento;
- e) coloración diferenciada entre albura y duramen, con cambio abrupto;
- f) Albura de color amarillo cremoso y duramen de color marrón con vetas oscuras;
- g) presencia de poros medianos, con diámetro tangencial entre 115 y 182 (μm);
- h) presencia de poros solitarios, y escasos múltiples radiales de dos hasta cuatro células, de forma redondo;
- i) fibras libriformes septadas, en promedio con dos septas por fibra, cortas y de paredes muy delgadas (FIGURA 20-A)
- j) parénquima en banda de tipo marginal, paratraqueal escaso y unilateral, así como apotraqueal difuso con células aisladas y escasas (FIGURA 19-A);
- k) radios homocelulares, formado por células procumbentes (FIGURA 19-B);
- l) radios multiseriados y de estructura no estratificada (FIGURA 19-C).

FIGURA 20 - ELEMENTOS LEÑOSOS DE *Tectona grandis*. A) FIBRA;
B) ELEMENTO VASCULAR



FUENTE: El autor (2020)

En la TABLA 7, se presentan los valores promedios de los elementos anatómicos de la madera de *T. grandis*, en esta madera los poros se presentaron como solitarios y escasos múltiples radiales de dos hasta cuatro células, de forma redondo con diámetro tangencial promedio de 146 μm , en un rango de 115 a 182 μm , clasificado como medianos, con una frecuencia de vasos promedio de 7 vasos. mm^{-2} en un rango de 6 a 11 vasos. mm^{-2} , con presencia de sílice en su interior.

TABLA 7 - DIMENSIONES PROMEDIO DE LOS ELEMENTOS ANATÓMICOS DE LA MADERA DE *Tectona grandis* DE UNA PLANTACIÓN

FIBRAS	PROMEDIO	CV (%)
Longitud (μm)	1.371	8
Ancho total (μm)	27	7
Diámetro de lumen (μm)	21	10
Espesor de pared (μm)	3	11
ELEMENTOS DE VASOS	PROMEDIO	CV (%)
Longitud (μm)	259	9
Diámetro tangencial (μm)	146	10
Frecuencia ($\text{N}^{\circ}.\text{mm}^{-2}$)	7	14
RADIOS	PROMEDIO	CV (%)
Altura de radio (μm)	706	15
Ancho de radio (μm)	56	20
N° de células en ancho (N°)	3	15
N° de células en altura (N°)	30	14
Frecuencia ($\text{N}^{\circ}.\text{mm}^{-1}$)	5	12

Nota: CV= coeficiente de variación.

En la FIGURA 20-B se presenta el elemento vascular del vaso, que fue de longitud pequeño con un promedio de 259 μm en un rango de 198 a 299 μm , con platinas de perforación horizontal con perforaciones simples, no presentando tílides ni engrosamiento en espiral, con escasa presencia de sustancias orgánicas (gomas). El punteado intervascular se caracterizó por ser alterno con punteaduras de forma ovaladas y dispuestas en hileras diagonales, el tamaño promedio de las punteaduras fue de 6 μm con un rango de 4 a 6 μm y un coeficiente de variación de 11%. Los contornos de las aperturas están incluidos en el contorno de las areolas de las punteaduras (incluidas) con apertura de forma redonda o circular; en

el punteado radiovascular se observó que son iguales en forma y tamaño a las intervasculares.

El elemento vascular del vaso conductor de la madera del presente estudio tiene en promedio una longitud pequeña, un diámetro tangencial mediano y una frecuencia poco numerosa, que le otorgan una textura media, características similares a las descritas por algunos autores para madera de teca de distintas edades y procedencias.

Lima et al. (2011) al estudiar la anatomía de la madera de teca de 31 años en el bosque estatal de Pederneiras (Sao Paulo) encontraron valores promedio para el diámetro tangencial de 161,28 μm , longitud de 344 μm y una frecuencia de 8,28 vasos. mm^{-2} . Estos valores promedios son mayores a los resultados encontrados en el presente estudio, sin embargo, se mantienen las características de diámetro tangencial mediano, longitud pequeña y frecuencia de vasos poco numerosa. Teniendo en cuenta que las edades son similares, las diferencias podrían deberse al tipo de manejo de la plantación, la genética de las plantas y a las condiciones del sitio de producción (MOYA et al. 2009)

Moya et al. (2009), en madera de teca de 13 años de Costa Rica y Rodríguez-Anda et al. (2018) para madera de teca plantada en México, con edades de 9 años en el estado de Campeche, 15 años en los estados de Tabasco y Campeche y 21 años en el estado de Chiapas, observaron características similares del elemento vascular, es decir un diámetro tangencial de vaso mediano y una frecuencia de vasos poco numerosa. Moya et al. (2009), indican que el diámetro de vaso se incrementa con la edad del árbol, siendo el vaso el elemento celular más afectado por la calidad del sitio donde crecen los árboles. Rodríguez-Anda et al. (2018) indican que la procedencia influye significativamente en los incrementos del diámetro tangencial de vaso.

Los vasos constituyen elementos críticos en la madera, de tal manera que su abundancia y distribución influyen considerablemente en forma negativa sobre la resistencia mecánica de la madera, lo cual se ve compensado con la mejora de su permeabilidad. León (2010) señala que una madera con porosidad semicircular posee una mayor cantidad de espacios vacíos en el leño temprano debido a la presencia de poros de mayor tamaño, por lo tanto una menor masa específica, en comparación con el leño tardío. La madera de teca, del presente estudio, presentó

porosidad semicircular, con anillos claramente diferenciados y de ancho variable, con una masa específica básica media, como se comentará posteriormente.

En este estudio la madera de teca presentó radios y parénquima en corte longitudinal visibles con lupa 10X, parénquima no estratificado, radios con ancho promedio de 56 μm considerado como fino, con altura promedio de 706 μm y con frecuencia media de 5 radios. mm^{-1} . El tamaño de los radios fue uniforme, con dos a cinco células de ancho y 18 a 34 células de altura, en cuanto a la relación entre los radios se observó la presencia de agregados y de estructura no estratificada.

Chagas et al. (2014) y Rodríguez-Anda et al. (2018) encontraron resultados similares al presente estudio en lo relacionado al parénquima paratraqueal, así como al radio homocelular formado por células procumbentes, mientras que la relación del parénquima longitudinal y el vaso, observado en ambos estudios, difieren en lo encontrado en el presente estudio, parénquima apotraqueal difuso con células aisladas y escasas. Estas diferencias podrían estar relacionado a la genética de las plantas y a los factores medioambientales de cada sitio.

La madera de *T. grandis* del presente estudio, presentó fibras libriformes, con disposición no estratificada, con punteado no visible y septadas, en promedio con dos septas por fibra, que se caracterizan, según IAWA (1989), como fibras cortas y de paredes muy delgadas, las dimensiones de las fibras se presentan en la TABLA 7.

En maderas de latifoliadas, las fibras son los elementos relevantes para la resistencia mecánica de la madera y también puede tener influencia en el acabado de la superficie, dependiendo de la orientación de las fibras en relación al eje del árbol.

En cuanto a las dimensiones de fibras de madera de *T. grandis*, Lima et al. (2011), Thulasidas; Bhat (2012) y Cardoso et al. (2009), para árboles de diferentes edades y procedencias, encontraron que las fibras tienen longitud corta y espesor de pared delgada a gruesa (lumen < 3 veces el doble del espesor de pared) (IAWA, 1989). La longitud de fibra encontrada en el presente estudio es similar a lo reportado por los autores mencionados, mientras que el espesor de pared fue menor a lo reportado por dichos autores. Al respecto Lima et al. (2011) Señalan que el espesor de pared de las fibras en distanciamiento de 3 x 1,5 m es significativamente menor que las de espaciamentos de 3 x 2 m y 3 x 2,5 m, cabe

señalar que para este estudio se empleó árboles procedentes de una plantación con espaciamiento inicial de 2 x 2,5 m, lo cual podría explicar el bajo espesor de pared de fibras encontrado.

Las características anatómicas de la madera de teca plantada en Perú, son similares a la madera de teca de otras procedencias en lo relacionado al grano, a la textura, al brillo y al color de albura y duramen principalmente, que son aspectos favorables para su trabajabilidad en la elaboración de pisos.

4.1.3 Caracterización química de la madera

En la TABLA 8 se presentan los valores promedio de los componentes químicos de la madera de *T. grandis* del presente estudio. Los valores promedios obtenidos, para contenido de lignina y holocelulosa, son similares a los reportados en la literatura para esta especie, de diferentes procedencias y edades. Blanco (2012) para madera de teca de 13 años, Miranda et al. (2011) para madera de teca de 50 a 70 años oriunda de Timor Leste y Loiola (2015) para madera de teca de 20 años, reportan contenidos de holocelulosa que varía entre 56,29% y 57,94% y para lignina contenidos que varía entre 31,62% y 32,47%. Mientras que para el contenido de extractivos y cenizas, la madera del presente estudio tiene un mayor contenido que la madera de teca de los otros estudios, mencionados anteriormente.

TABLA 8 - COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE *Tectona grandis* DE 32 AÑOS

COMPONENTE QUÍMICO	VALOR PROMEDIO (%)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)
Holocelulosa	55,02	4,26
Celulosa	39,91	1,12
Hemicelulosa	15,11	13,29
Extractivos totales	11,88	8,09
Lignina	31,30	3,02
Cenizas	1,80	3,50
Sílice	0,43	23,53
pH	7,84	4,16

Sin embargo, el contenido de lignina encontrado en el presente estudio se encuentra por encima del rango indicado por Rowell et al. (2012), para maderas de latifoliadas (18 - 25%). La presencia de lignina en la madera contribuye significativamente en el comportamiento dimensional de la misma ante cambios de humedad con relación negativa, es decir, a mayor porcentaje de lignina menor cambio dimensional (BARCENAS y DAVALOS, 1999). Este mayor porcentaje de lignina presente en la madera de teca, del presente estudio, podría ser una ventaja frente a los cambios de contenido de humedad a que se expone la madera en servicio, en relación a su estabilidad dimensional.

Con respecto al contenido de extractivos Moreira (1999) indica que la densidad de la madera es el resultado de la combinación de las características anatómicas y los constituyentes químicos que la conforman, resaltando que existe una correlación positiva entre la masa específica y el contenido de extractivos en la madera. El contenido de extractivos encontrado en el presente estudio es mayor a lo reportado por Miranda et al. (2011) para madera de teca de 50 a 70 años, y es similar a lo reportado por Loiola (2015) para madera de teca de 20 años. Esta variabilidad está asociada con factores como edad, localización geográfica y carga genética (MOREIRA, 1999).

El contenido de sílice encontrado en el presente estudio es menor a 0,5%, que es una característica desfavorable en el proceso de transformación de la madera, principalmente por el pronto desafilado de los elementos cortantes, sin embargo la presencia de sílice en la madera mejora su resistencia natural a los agentes marinos.

Con respecto al pH, la madera de teca del presente estudio, es de carácter neutro, ligeramente alcalino. Moya et al. (2010) para madera de teca de 13 años determinaron un pH de 6,41, que es ligeramente ácida. Esta característica influye principalmente en el proceso de fraguado del adhesivo, en uniones encoladas de madera, generalmente a menor pH menor tiempo de fraguado. El pH aproximadamente neutro de la madera de teca le confiere la característica de no corrosión de clavos y pernos en uniones de madera, además este pH neutro a ligeramente alcalino no facilita el desarrollo de hongos, porque los hongos para su desarrollo prefieren un medio ácido, con pH comprendido entre 4 y 6.

Las características químicas de la madera de teca de 32 años, producidos en Perú, tienen cierta similitud con las características químicas reportados por otros autores para la misma especie, de otras procedencias y otras edades, lo que sugiere que son mayormente favorables para la fabricación de pisos de madera.

4.1.4 Masa específica básica y aparente

En la TABLA 9 se presentan los resultados para la masa específica básica y masa específica aparente a 12% de contenido de humedad. La masa específica básica varió entre un valor mínimo de 0,43 g.cm⁻³ y un valor máximo de 0,64 g.cm⁻³. Esta variación podría deberse a que la masa específica se encuentra influenciada por factores externos e internos a la madera, factores externos como características del lugar de crecimiento de los árboles relacionado al suelo, clima, pendiente del terreno, entre otros, y factores internos como la especie, sus características anatómicas, características químicas, posición de la madera en el tronco, entre otros. Según la IAWA (1989) los valores observados se encuentran dentro de la categoría de masa específica básica media, lo que le otorga a la madera potencialidad para usos en los que se requieran mayor resistencia mecánica, con posibilidades a ser utilizada en la fabricación de pisos de madera.

TABLA 9 - VALORES PROMEDIO DE MASA ESPECÍFICA BÁSICA Y APARENTE AL 12% DE LA MADERA DE *Tectona grandis* DE UNA PLANTACIÓN

MASA ESPECÍFICA DE LA MADERA	PROMEDIO (g.cm ⁻³)	MINIMO (g.cm ⁻³)	MAXIMO (g.cm ⁻³)	CV (%)
Masa específica básica	0,54	0,43	0,64	8,20
Masa específica aparente 12% CH	0,63	0,50	0,74	8,19

Nota: CV: coeficiente de variación

La masa específica básica se constituye en una de las propiedades físicas más importantes de la madera, ya que se encuentra estrechamente relacionada con sus propiedades de resistencia mecánica y estabilidad dimensional. Loiola (2015) indica que la masa específica de la madera puede considerarse como el resultado de la interacción de las propiedades químicas y anatómicas de la madera, a lo que Panshin; De Zeeuw (1980) agregan que las variaciones en la masa

específica son debidas a las diferencias en las dimensiones celulares y cantidad de extractivos presentes por unidad de volumen en la madera.

Se han realizado diversos estudios relacionados con la masa específica básica de la madera de teca de plantaciones de diferentes edades y en diferentes localidades, siendo el valor mínimo de la masa específica básica de la madera encontrado de $0,47 \text{ g.cm}^{-3}$, obtenido por Loiola (2015), y el valor máximo encontrado fue de $0,59 \text{ g.cm}^{-3}$, por Telles et al. (2017). La masa específica básica encontrada en el presente estudio se encuentra dentro del rango de los valores indicados por los mencionados autores.

La masa específica básica de la madera de teca de diferentes edades y plantadas en diferentes condiciones de sitio, toma valores promedio variable sin una tendencia definida en relación a la edad de la plantación. La masa específica básica determinada en el presente estudio es similar a la de madera de teca de 13 años plantada en Minas Gerais (Brasil) y es aproximada a la de 9 años, plantada en Veracruz (México).

Al comparar con otras especies de plantaciones, Marchesan (2016) para madera de *Hovenia dulcis* de 18 años, determinó una masa específica básica promedio de $0,55 \text{ g.cm}^{-3}$, clasificándola como madera de masa específica media, pudiendo ser utilizada en la fabricación de muebles, embalajes, pisos, etc. La madera de teca del presente estudio, con masa específica básica de $0,54 \text{ g.cm}^{-3}$, también es clasificada como madera de masa específica media con posibilidades de uso en pisos de madera.

La masa específica aparente al 12% de contenido de humedad, de madera de teca, encontrado en el presente estudio fue mayor a lo reportado por Blanco et al. (2014) y por Moya et al. (2010) para teca de 13 años y a lo reportado por Rivero y Moya (2006) para teca de 8 años. Estas diferencias podrían estar relacionadas con la edad de la plantación, con las características anatómicas y químicas de la madera, así como con la carga genética y la localización geográfica de la plantación (MOREIRA, 1999). En base a la masa específica aparente al 12% de contenido de humedad, también le otorga, a la madera de teca del presente estudio, las posibilidades de ser utilizada satisfactoriamente en la fabricación de pisos.

4.1.5 Contracciones de la madera

En la TABLA 10 se presentan los valores promedios de las contracciones desde la condición verde hasta la condición anhidra, llamada contracción total, pasando por la condición de equilibrio al 12% de contenido de humedad, llamada contracción normal. El movimiento dimensional de la madera puede ser evaluado en función de la contracción normal por secado y según la contracción total (RODRIGUEZ et al., 2014).

TABLA 10 - VALORES PROMEDIOS DE CONTRACCIÓN TANGENCIAL, RADIAL, AXIAL, VOLUMÉTRICA Y COEFICIENTE ANISOTRÓPICO DE LA MADERA DE *Tectona grandis* DE UNA PLANTACIÓN

CONTRACCION	CONTRACCION NORMAL		CONTRACCIÓN TOTAL	
	PROMEDIO (%)	CV (%)	PROMEDIO (%)	CV (%)
Tangencial	1,22	20,0	3,82	12,9
Radial	0,73	28,0	2,11	20,0
Axial	0,08	33,4	0,27	26,3
Volumétrica	2,09	21,0	6,59	11,6
Coeficiente anisotrópico (T/R)	1,67		1,81	

CV: Coeficiente de variación

Desde la condición verde hasta el contenido de humedad de equilibrio (12%), la contracción volumétrica fue de 2,09% con un coeficiente de variabilidad de 21% y el coeficiente anisotrópico (T/R) encontrado fue 1,67. La importancia del conocimiento de la contracción normal radica en que permite determinar el cambio dimensional porcentual que ocurre en la madera por efecto del proceso de secado, con lo cual se puede estimar la sobredimensión que asegure las dimensiones comerciales de las piezas de madera (FUENTES et.al., 2014).

Desde la condición verde hasta la condición seca al horno (estado anhidro), la contracción tangencial, radial y volumétrica fue de 3,82%, 2,11% y 6,59%, respectivamente y el coeficiente anisotrópico fue de 1,81. Según la clasificación de Sotomayor y Ramírez (2013), estos coeficientes de contracción se clasifican como muy bajos, mientras que el coeficiente anisotrópico se clasifica como medio. Estos resultados de contracción y coeficiente anisotrópico le otorgan a la madera de *T. grandis*, de este estudio, la característica de buena estabilidad dimensional, una de

las principales características de la madera de *T. grandis*, mencionada por algunos autores en investigaciones relacionadas a la especie.

Uno de los factores que influye sobre las contracciones de la madera es su masa específica básica, ésta, a su vez, está relacionada con el espesor de pared celular, del mismo modo el contenido de lignina contribuye significativamente en el comportamiento dimensional ante cambios de humedad con relación inversa. La madera de *T. grandis*, del presente estudio, tiene un alto contenido de lignina, una masa específica básica media y un espesor de pared celular muy fina, que estarían explicando este buen comportamiento a los cambios dimensionales.

Los resultados de buena estabilidad dimensional encontrada para la madera de *T. grandis* de 32 años plantada en Perú, está de acuerdo con los valores reportados para *T. grandis* de otras localidades y confirma la buena estabilidad dimensional de la madera de esta especie.

Las contracciones de la madera de *T. grandis* han sido evaluadas en diferentes edades y localidades de producción, según la clasificación de Sotomayor y Ramírez (2013) los valores de los coeficientes de contracción observados corresponden a las categorías de bajo y muy bajo. Observándose coeficientes de contracción volumétrica de la madera de teca plantada desde 5,15% (TELLEZ et al., 2017) hasta 8,11% (CRESPO et al., 2008), para las edades de 11 años y 22 años respectivamente. La madera de *T. grandis* de 32 años plantada en Perú, mostró una contracción volumétrica menor a la contracción volumétrica de 7,6%, indicada para la madera de *T. grandis* de 50 a 70 años plantada en Timor Oriental (MIRANDA et al., 2011).

En varios estudios fueron encontrados valores de contracción radial, tangencial y volumétrica para madera de teca de árboles con diferentes edades, variando entre 1,61% y 2,40% la contracción radial, entre 2,99% y 5,66% la contracción tangencial y entre 5,15% y 8,11% la contracción volumétrica (BLANCO et al., 2014; MIRANDA et al., 2015; CRESPO et al., 2008; TELLEZ et al., 2017). Los valores de contracción encontrados por los mencionados autores, corresponden a las categorías de bajo y muy bajo, similares a las contracciones de la madera de *T. grandis* del presente estudio.

Por otro lado la madera de *T. grandis* del presente estudio, mostró un coeficiente anisotrópico (T/R) de 1,88 que es mayor al T/R de 1,48 indicado para la

madera de teca de 50 a 70 años (MIRANDA et al., 2011); sin embargo obtiene una clasificación media, que corresponde a una madera estable, según Sotomayor y Ramírez (2013) y Aróstegui *et al.* (1980).

En diversos estudios fueron encontrados valores de T/R para madera de teca de árboles con diferentes edades, cuyos valores varían entre 1,82 y 2,27 (BLANCO et al., 2014; BETANCUR et al., 2000; Tellez et al., 2017; MIRANDA et al., 2015). Este comportamiento variable de los coeficientes anisotrópicos de la madera de teca plantada pone en evidencia que las propiedades de la madera de una misma especie pueden variar en función de su edad y procedencia afectado por el clima y las características del terreno de cultivo (CALVO *et al.*, 2007).

De esta forma, se puede afirmar que los bajos coeficientes de contracción lineal y volumétrica y el valor medio del coeficiente anisotrópico que presentó la madera de *T. grandis*, en el presente estudio, confirma su característica de buena estabilidad dimensional, comportamiento que es requerido en diferentes usos de la madera, ya sea en embalajes, muebles, construcciones, pisos, entre otros.

4.1.6 Propiedades mecánicas

En la TABLA 11, se presentan los valores promedio de las propiedades mecánicas obtenidos para la madera de *T. grandis*, expresados al 12% de contenido de humedad y su correspondiente coeficiente de variabilidad.

TABLA 11 - VALOR PROMEDIO Y COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE *Tectona grandis* AL 12% DE HUMEDAD, DE UNA PLANTACIÓN

PROPIEDADES		VALOR PROMEDIO	CV (%)
Flexión estática			
Módulo de ruptura (MPa)	MORf	102,09	8,5
Módulo de elasticidad (MPa)	MOEf	11.964,11	10,4
Compresión paralela a las fibras			
Módulo de ruptura (MPa)	MORc	44,52	10,7
Módulo de elasticidad (MPa)	MOEc	12062,18	17,9
Cizallamiento (MPa)	Fv	11,37	13,0
Dureza Janka (N)		5.481,92	9,6

NOTA: MPa = Megapascal; Fv= Resistencia al cizallamiento; N= Newton; CV: coeficiente de variación.

En la TABLA 11, se observan los valores promedios de MOR y MOE en flexión estática y en compresión paralela al grano, resistencia al cizallamiento y dureza Janka en la dirección perpendicular a las fibras de la madera de *T. grandis*, en todos los casos presentan menores coeficientes de variabilidad que el correspondiente promedio señalado por Kretschmann (2010), lo cual significa que en cada caso el promedio es representativo de la muestra, por ende el respectivo conjunto de datos es homogéneo.

Para la resistencia al cizallamiento, los valores promedios encontrados en la orientación radial y tangencial fueron de 11,18 MPa y 11,67 MPa, respectivamente, que no difieren significativamente ($p=0,311$), con 95% de confianza, por lo que se determinó el esfuerzo máximo cortante promedio de 11,37 MPa. Para la dureza Janka, los valores promedios encontrados en la orientación radial y tangencial fueron de 5.394 N y de 5.580 N, respectivamente, que no son diferentes estadísticamente ($p=0,14$) con 95% de confianza, por lo que se determinó la dureza promedio en dirección perpendicular a las fibras de 5.482 N.

En estudios realizados para la madera de *T. grandis*, de plantaciones, Blanco et al. (2014) determinaron valores promedios de resistencia a la flexión estática de 91,88 MPa, módulo de elasticidad en flexión estática de 13.042,84 MPa, resistencia a la compresión paralela a las fibras de 46,97 MPa, módulo de elasticidad en compresión paralela las fibras (6.766,52 MPa) y dureza Janka en la dirección perpendicular a las fibras de 4.658,16 N. Crespo et al. (2008) determinaron el promedio de resistencia al cizallamiento de (10,43 MPa). Entre los promedios mencionados, se puede notar que los valores de módulo de elasticidad en flexión estática, resistencia a la compresión paralela y de resistencia al cizallamiento fueron semejantes a los determinados en el presente estudio. Mientras que los valores de resistencia a la flexión estática, de módulo de elasticidad en compresión paralela a las fibras, fueron menores.

La madera de *T. grandis* del presente estudio se caracteriza por tener alta dureza, alta resistencia a la flexión estática y resistencia media a la compresión paralela a las fibras y al cizallamiento, según la clasificación propuesta por Dávalos y Bárcenas (1999).

Con fines de comparación, orientado a la definición del uso de la madera, en la TABLA 12 se presentan los valores promedios de las propiedades mecánicas

y masa específica básica de la madera de *T. grandis*, al 12% de contenido de humedad, y de las especies latifoliadas nativas, en condición verde, ampliamente utilizadas en la fabricación de pisos, como shihuahuaco (*Dipteryx odorata*), estoraque (*Myroxylon balsamum*), capirona (*Calicophyllum spruceanum*) y quinilla (*Manilkara bidentata*).

TABLA 12 - VALORES PROMEDIOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS ESPECIES *Tectona grandis*¹, *Dipteryx odorata*, *Myroxylon balsamum*, *Calicophyllum spruceanum* y *Manilkara bidentata*

PROPIEDADES	<i>Tectona grandis</i> **	<i>C. spruceanum</i> *	<i>M. balsamun</i> *	<i>M. bidentata</i> *	<i>D. odorata</i> *
MEB (g.cm ⁻³)	0,54	0,76	0,77	0,87	0,87
MORf (MPa)	102,09	70,9	108,46	118,07	126,11
MOEf (MPa)	11.964,11	14.709,97	15.004,17	18.083,46	19.711,36
MORc (MPa)	44,52	27,75	58,15	59,62	65,90
MOEc (MPa)	12.062,18	--	--	--	--
Fv (MPa)	11,37	8,53	13,14	13,24	14,21
Dureza J (N)	5.841,92	4.167,83	10.189,11	10.689,25	13.268,40

FUENTE: *Acevedo (2011); **Presente estudio

NOTA: ¹ = proveniente de una plantación de 32 años; MEB = masa específica básica; MORf = resistencia a la flexión estática; MOEf = módulo de elasticidad en flexión estática; MORc = resistencia a la compresión paralela a las fibras; MOEc = módulo de elasticidad en compresión paralela a las fibras; Fv = resistencia al cizallamiento; J = Janka; MPa = Megapascal; N = Newton.

Los valores de resistencia a la flexión estática y su correspondiente módulo de elasticidad, encontrados para la madera de *T. grandis* fueron menores a los de las especies shihuahuaco (*D. odorata*), estoraque (*M. balsamum*) y quinilla (*M. bidentata*) y mayor a la de capirona (*C. spruceanum*), en lo relacionado a la resistencia a la flexión (Tabla 12). Una baja resistencia de la madera a la flexión estática puede limitar sus usos en la construcción civil para productos que requieran de mayor resistencia a la flexión, como en la construcción de puentes y techos.

La madera de *T. grandis* del presente estudio tiene una alta resistencia a la flexión estática, sin embargo al compararla con las maderas de algunas especies que se utilizan actualmente en la producción de pisos, tiene una menor resistencia a la flexión estática. Esta relación de la resistencia a la flexión pudo haber sido influenciado por la menor masa específica de la madera de *T. grandis*, por las

características anatómicas de las maderas y por la composición del leño. La resistencia a la compresión paralela a las fibras determinado para la madera de *T. grandis*, fue superior a la de capirona (*C. spruceanum*). Una baja resistencia de la madera a la compresión paralela a las fibras puede limitar su uso en productos que requieran mayor resistencia a la compresión paralela a las fibras. Esta característica, como todas las propiedades mecánicas, está directamente relacionada con la masa específica básica de la madera, composición del leño y estructura anatómica, lo que podría justificar esa diferencia ya que la madera de *T. grandis* presentó masa específica básica media y porosidad semicircular.

El valor medio de resistencia al cizallamiento, encontrado para *T. grandis* es superior al de capirona (*C. spruceanum*) y semejante a los de shihuahuaco (*D. odorata*), estoraque (*M. balsamum*) y quinilla (*M. bidentata*), lo que permite enunciar que la madera de *T. grandis*, de plantaciones, tiene potencial para ser utilizado en productos que requieran mayor resistencia al cizallamiento, como las uniones de madera utilizadas en la fabricación de muebles.

El valor promedio de la dureza Janka de la madera de *T. grandis* en la dirección perpendicular a las fibras, fue superior al de capirona (*C. spruceanum*) e inferior al de shihuahuaco (*D. odorata*), estoraque (*M. balsamum*) y quinilla (*M. bidentata*), al ser la dureza Janka de *T. grandis* superior por lo menos a una de las especies utilizadas actualmente en la producción de pisos en Perú, se puede afirmar que la madera de esta especie, plantada en Perú, tiene potencial para ser empleada en la fabricación de pisos.

Acevedo (2011) al evaluar las características tecnológicas de las maderas peruanas determinó la dureza Janka en condición verde de las principales especies forestales de bosques nativos, empleadas en la fabricación de pisos en Perú, dichos resultados fueron clasificados empleando la tabla de clasificación propuesta por Dávalos y Bárcenas (1999). En la TABLA 13 se presenta la clasificación mencionada, se observa que el valor promedio de dureza Janka, en dirección perpendicular al grano, encontrado para la madera de *T. grandis* al 12% de humedad es satisfactorio, correspondiendo a la clasificación de dureza alta. La dureza es una característica de gran importancia para definir la calidad de la madera como materia prima para la producción de pisos, que junto a su masa

específica básica y características anatómicas influirán directamente en los ensayos de simulación de pisos en servicio.

TABLA 13 - DUREZA JANKA DE MADERAS DE ESPECIES TROPICALES NATIVAS UTILIZADAS EN LA FABRICACIÓN DE PISOS EN PERÚ Y DE *Tectona grandis* DE UNA PLANTACIÓN

ESPECIE	MEB g.cm ⁻³	Dureza Janka N	CLASIFICACIÓN ¹
Teca (<i>Tectona grandis</i>)**	0,54	5.481,92	Alto
Huayruro (<i>Ormosia coccinea</i>)*	0,61	6.374,32	Muy alto
Ana caspi (<i>Apuleia leiocarpa</i>)*	0,70	7.038,23	Muy alto
Quina Quina (<i>Pouteria torta</i>)*	0,74	7.796,29	Muy alto
Capirona (<i>Calicophyllum spruceanum</i>)*	0,76	4.167,83	Medio
Estoraque (<i>Myroxylon balsamum</i>)*	0,77	10.189,11	Muy alto
Tahuarí (<i>Tabebuia sp.</i>)*	0,81	11.316,87	Muy alto
Shihuahuaco (<i>Dipteryx odorata</i>)*	0,87	13.268,40	Muy alto
Quinilla (<i>Manilkara bidentata</i>)*	0,87	10.689,25	Muy alto

FUENTE: *Acevedo (2011); **Presente estudio.

NOTA: CH= Contenido de humedad; MEB= masa específica básica; N= Newton; ¹= Según Dávalos y Bárcenas (1999).

Para hacer posible la comparación de los valores de las propiedades mecánicas determinados para la madera de *T. grandis* fue necesario transformar las resistencias medias en resistencias características según la norma NBR 7190 (1997).

Los valores de resistencia y rigidez característicos determinados para la madera de *T. grandis*, son presentados en la TABLA 14.

De acuerdo a la clasificación sugerida por la NBR 7190 mostrada en la TABLA 3, y a los valores característicos de *T. grandis* mostrados en la TABLA 14, se puede observar que la madera de *T. grandis*, para la resistencia a la compresión paralela a las fibras, se encuentra en la clase C30, la que la califica como madera de resistencia media a la compresión paralela a las fibras. Para la resistencia al cizallamiento, califica en la clase C60, la que la califica como madera de resistencia muy alta al cizallamiento, resaltando su aptitud para ser utilizada en la industria de muebles. Para el módulo de elasticidad, a la compresión paralela, califica en la clase C20, la que la califica como madera con rigidez media.

TABLA 14 - VALORES CARACTERÍSTICOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS de *Tectona grandis* DE UNA PLANTACIÓN

PROPIEDADES		VALOR PROMEDIO	CV (%)
Compresión paralela a las fibras	F_{c0k} (MPa)	39,25	8,5
	$E_{c0,m}$ (MPa)	12.062,18	10,4
Flexión estática	F_{Mk} (MPa)	96,55	10,7
	$E_{M0,m}$ (MPa)	11.964,11	17,9
Cizallamiento	F_{Vk} (MPa)	8,73	13,0
Dureza Janka	$F_{H,m}$ (N)	5.138,68	9,6

Nota: CV = coeficiente de variabilidad; F_{c0k} = resistencia a la compresión paralela al grano característico; F_{Mk} = resistencia a la flexión estática característico; F_{Vk} = Resistencia al cizallamiento característico; $E_{c0,m}$ = Módulo de elasticidad, medio, en flexión estática; $E_{M0,m}$ = Módulo de elasticidad, medio, en compresión paralela al grano; $F_{H,m}$ = dureza Janka de la madera en la dirección perpendicular al grano, medio; MPa = Megapascal; N = Newton.

En cuanto a la masa específica básica, también califica en la clase C20, calificándola como madera de masa específica básica media, con potencialidad para la fabricación de productos que exijan mayor rigidez de la madera. Para la resistencia y el módulo de elasticidad de flexión estática y la dureza Janka, la norma NBR 7190 no presenta valores característicos para la calificación correspondiente.

4.2 ENSAYOS DE SIMULACIÓN DE PISOS EN SERVICIO

4.2.1 Masa específica básica y dureza Janka

En la TABLA 15 se presentan los valores promedio de masa específica básica y de dureza Janka, para la madera de albura y duramen.

La madera de albura tiene una masa específica básica promedio de 0,50 g.cm⁻³ y una dureza Janka de 4.973,01 N; por su lado la madera de duramen tiene una masa específica básica promedio de 0,56 g.cm⁻³ y una dureza Janka de 5.880,35 N. Estas características son de gran importancia en la determinación de la calidad en la producción de pisos de madera. Según Blanco et al. (2015) al escoger el tipo de madera para piso uno de los principales factores a ser considerado es la densidad del material, pues maderas más densas son más

resistentes y utilizadas para pisos, teniendo en cuenta que la densidad se relaciona en forma directa con la dureza.

TABLA 15 - MASA ESPECÍFICA BÁSICA Y DUREZA JANKA DE LA MADERA DE ALBURA Y DURAMEN DE *Tectona grandis* DE UNA PLANTACION

MADERA	MASA ESPECÍFICA BÁSICA (g.cm ⁻³)	DUREZA JANKA (N)
Duramen	0,56 (0,02; 4,42%)	5.880,35 (605; 13%)
Albura	0,50 (0,02; 4,69%)	4.973,01 (576; 15%)
Promedio	0,53	5.426,68
F	147,73*	41,07*

NOTA: Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar y al coeficiente de variación respectivamente. * Significativo al nivel de 5% de probabilidad. N= newton

Para la madera de *T. grandis*, se observó que la masa específica básica y la dureza del duramen son significativamente mayores a las de la albura al 5% de probabilidades de error (ANEXO 1), mostrando una relación directa para ambas características. Este comportamiento de la masa específica y la dureza guarda relación con lo señalado por Kollman (1959), quien indica que la masa específica de una madera es una de las características más importantes para su clasificación técnica, ya que existe una relación bastante constante entre masa específica y resistencia mecánica, las maderas más pesadas son por lo general más resistentes.

Según la clasificación de IAWA (1989), la madera de *T. grandis* del presente estudio tiene una masa específica básica media; y una dureza alta, según la clasificación de Dávalos y Bárcenas (1999).

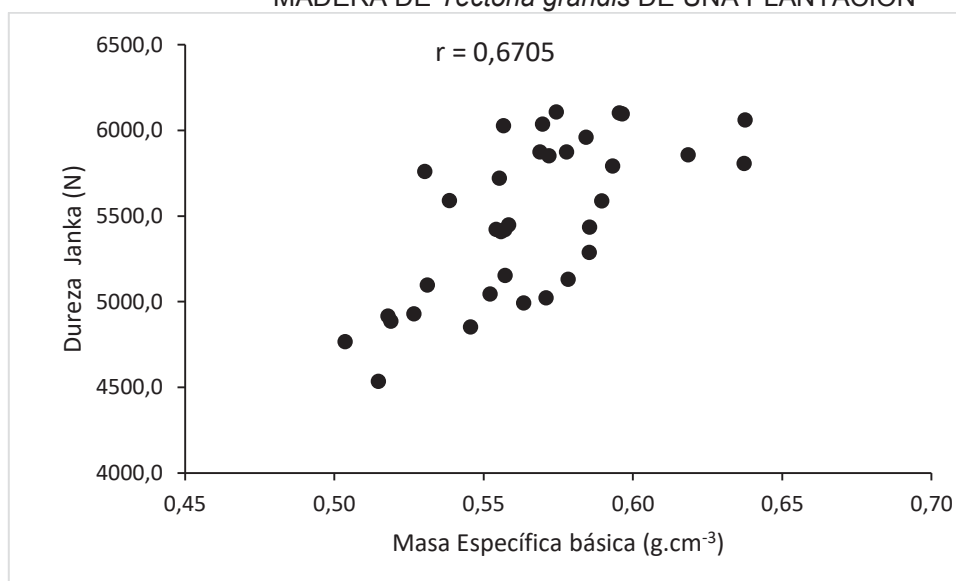
Con relación al resultado de masa específica básica presentado al caracterizar la madera de *T. grandis*, donde se mencionó una masa específica básica promedio de 0,54 g.cm⁻³, en el que no se hizo distinción de albura y duramen, se observa que la albura presentó una masa específica inferior y el duramen un valor más próximo al promedio. Es posible afirmar que la masa específica del duramen resultó cercana a la obtenida para la especie porque la *T.*

grandis tiene una mayor proporción, en volumen, de duramen (59,64%) que la albura (40,36%).

En la FIGURA 21, se puede observar el grado de correlación que hay entre la masa específica básica y la dureza Janka, notándose una relación directa, es decir, a mayor masa específica básica de la madera mayor dureza, reflejado en un coeficiente de correlación de Pearson (r) de 0,6705.

Para la dureza Janka, al comparar los valores medios encontrados para albura y duramen, por separado, con el valor presentado en la TABLA 11 en la que se indica una dureza de 5.481,92 N sin tener en cuenta la distinción entre albura y duramen, se observa que la dureza del duramen fue superior a dicho promedio, mientras que la dureza de la albura fue inferior al mencionado valor promedio.

FIGURA 21 - RELACION ENTRE LA MASA ESPECIFICA BÁSICA Y LA DUREZA JANKA DE LA MADERA DE *Tectona grandis* DE UNA PLANTACION



FUENTE: El autor (2020)

Estos resultados guardan relación con la diferencia estructural entre la madera de albura y de duramen. Sin embargo, teniendo en cuenta la clasificación presentada en la TABLA 13, donde la capirona con una dureza Janka de 4.167,83 N es clasificada como dureza alta, se puede afirmar que la madera de albura y de duramen de *T. grandis* pueden ser consideradas de dureza alta, la cual la califica como especie con potencialidad para ser utilizada en la fabricación de pisos de madera.

4.2.2 Ensayo de carga rodante

En la TABLA 16 se presentan los valores promedios de depresión ocasionados por el arrastre de la carga rodante de 890 N sobre el piso de madera de *T. grandis* conformado por albura y duramen en proporción variable y sólo por duramen, sin acabado y con acabado, después de 10, 25 y 50 viajes.

TABLA 16 - VALORES PROMEDIO DE DEPRESIÓN ORIGINADA POR LA CARGA RODANTE DE 890 N EN MADERA DE *Tectona grandis* DE UNA PLANTACIÓN SIN Y CON ACABADO

TIPO DE ACABADO	TIPO DE MADERA	MEDIDAS DE DEPRESION PROMEDIO SEGÚN NUMERO DE VIAJES (mm)		
		10 viajes	25 viajes	50 viajes
SIN ACABADO	Albura y duramen	0,30 (0,08; 26,63)	0,40 (0,09; 22,79)	0,46 (0,10; 22,55)
	100% duramen	0,28 (0,06; 20,15)	0,36 (0,07; 18,09)	0,44 (0,08; 18,99)
	Promedio general	0,29	0,38	0,45
	F calculado	1,57 ^{ns}	3,31 ^{ns}	0,52 ^{ns}
CON ACABADO	Albura y duramen	0,27 (0,05; 19,37)	0,34 (0,06; 16,33)	0,39 (0,06; 16,50)
	100% duramen	0,26 (0,06; 21,30)	0,33 (0,06; 16,78)	0,38 (0,06; 15,68)
	Promedio general	0,27	0,34	0,39
	F calculado	0,04 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,55 ^{ns}

NOTA: Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar y al coeficiente de variación respectivamente; ^{ns}No significativo al nivel de 5% de probabilidad.

Para la condición sin acabado, la depresión provocada por la carga rodante sobre la madera de *T. grandis*, de composición variable de albura y duramen (0,46 mm) y la de 100% de duramen (0,44 mm), después de 50 viajes, no difieren estadísticamente, para un nivel de confianza de 95%. Igual comportamiento se observa para 10 viajes y 25 viajes. Sin embargo, se observa que la depresión promedio, en los dos tipos de madera, se incrementa a medida que aumenta el número viajes ($p=0,0000$), de tal manera que la depresión promedio por viaje es 0,029 mm para 10 viajes, 0,015 mm para 25 viajes y 0,009 mm para 50 viajes. Este comportamiento se explica por la compactación sufrida por la madera después de sucesivos viajes de carga rodante que le confieren mayor resistencia mecánica.

Similar comportamiento fue observado por Martins et al. (2013), al evaluar pisos de madera de *Eucalyptus sp.*

Para los tres números de viajes, no obstante que no hay diferencia significativa, la madera con 100% de duramen presentó ligeramente menor depresión, es decir, mejor resistencia a la carga rodante. Este comportamiento podría estar relacionado con su masa específica básica y su dureza Janka. Como se mencionó anteriormente la madera de duramen presentó mayor masa específica básica y mayor dureza Janka que la madera de albura.

En este estudio el valor de depresión promedio, después de 50 viajes, fue similar a los correspondientes promedios señalados por algunos autores, para especies de masa específica básica similar, tal como se muestra en la TABLA 17.

TABLA 17 - VALORES DE DEPRESIÓN EN ENSAYO DE CARGA RODANTE Y MASA ESPECÍFICA BÁSICA REPORTADOS POR LA LITERATURA PARA DIFERENTES ESPECIES

ESPECIE	DEPRESIÓN (mm)	MASA ESPECÍFICA BÁSICA (g.cm ⁻³)	FUENTE
<i>Tectona grandis</i>	0,45	0,53	Presente estudio
<i>Tectona grandis</i>	0,44	0,54	Blanco (2016)
<i>Hovenia dulcis</i>	0,43	0,54	Marchesan (2016)
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	0,36	0,58	Santos et al. (2010)
<i>Bowdichia virgilioides Kunth</i>	0,21	0,72	Silva (2019)
<i>Eucalyptus clöeziana</i>	0,19	0,74	Martins et al. (2013)
<i>Eucalyptus microcorys</i>	0,15	0,80	Martins et al. (2013)
<i>Hymenaea courbaril</i>	0,08	0,85	Silva (2019)
<i>Dipteryx odorata</i>	0,08	0,91	Silva (2019)

Blanco (2016) indica que la resistencia a este tipo de esfuerzo es el resultado de la dureza y la densidad del material, siendo la densidad el principal factor a considerar para clasificar los usos de la madera.

En la TABLA 17 se puede observar para madera de plantaciones, que para aquellas de menor masa específica se indican mayores depresiones, igual relación se observa para el caso de maderas procedentes de bosques naturales. La madera de *T. grandis* del presente estudio con una masa específica básica de 0,53 g.cm⁻³ presentó una depresión promedio de 0,45 mm, mientras que la madera de la

especie *Dipteryx odorata* (cumarú) con una masa específica básica de $0,91 \text{ g.cm}^{-3}$ presenta una depresión de 0,08 mm y el *Eucalyptus camaldulensis* con una masa específica básica de $0,58 \text{ g.cm}^{-3}$ presenta una depresión de 0,36 mm, pudiéndose notar que hay una relación directa entre la masa específica básica de la madera y la resistencia a la carga rodante.

En la TABLA 16, para la condición con acabado, se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de carga rodante, al aplicar una capa de barniz DD, sobre la superficie de la madera de *T. grandis*, observándose que las depresiones sufridas por la madera de composición variable de albura y duramen y la de 100% de duramen, no difieren significativamente, para un nivel de confianza de 95%, después de 10, 25 y 50 viajes. Según estos resultados se puede señalar que la capa de barniz DD contribuyó a uniformizar la resistencia a la carga rodante de la superficie de albura y duramen. Se observó que la depresión promedio varía significativamente ($p=0000$) a medida que aumenta el número viajes, con tendencia decreciente, de tal manera que la depresión promedio por viaje es 0,027 mm para 10 viajes, 0,014 mm para 25 viajes y 0,008 mm para 50 viajes. Como se mencionó anteriormente, este comportamiento se explica por la compactación sufrida por la madera después de sucesivos viajes de carga rodante que le confieren, cada vez, mayor resistencia mecánica.

En la TABLA 18 se presentan los valores promedio de depresión para el ensayo de carga rodante sobre madera de *T. grandis* sin acabado y con acabado, observándose que existe diferencia significativa entre la depresión de la madera con acabado y la de sin acabado, con 95% de confianza, para 10, 25 y 50 viajes.

TABLA 18 - COMPARACIÓN DE LOS VALORES PROMEDIO DE DEPRESIÓN ORIGINADA POR LA CARGA RODANTE DE 890 N EN MADERA DE *Tectona grandis* DE UNA PLANTACIÓN SIN Y CON ACABADO

PISO DE MADERA	MEDIDAS DE DEPRESIÓN PROMEDIO (mm)		
	10 viajes	25 viajes	50 viajes
Sin acabado	0,29 (0,07; 23,99%)	0,38 (0,08; 21,20%)	0,45 (0,09; 20,83%)
Con acabado	0,27 (0,05; 20,04%)	0,34 (0,06; 16,42%)	0,39 (0,06; 16,02%)
F calculado	5,89*	13,25*	17,77*

NOTA: Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar y al coeficiente de variación respectivamente; * Significativo al nivel de 5% de probabilidad.

De acuerdo a los resultados se puede afirmar que el acabado con barniz DD mejora significativamente el comportamiento de la madera de *T. grandis* al esfuerzo de carga rodante.

Para las depresiones ocurridas sobre la madera de *T. grandis* conformada por albura y duramen en diferentes proporciones, con acabado y sin acabado, se observó que existen diferencias significativas, con 95% de confianza, para 10, 25 y 50 viajes (ANEXO 2). Lo cual indica que el acabado con barniz DD mejora significativamente el desempeño de la madera compuesta por albura y duramen al esfuerzo de carga rodante. Esto podría explicarse porque la albura tiene una menor masa específica que el duramen, al aplicarle el barniz DD mejora la dureza y la resistencia de la superficie de la madera, lo cual es una característica del barniz de poliuretano. Estos resultados se pueden observar en la TABLA 19.

TABLA 19 - VALORES PROMEDIO DE DEPRESIÓN ORIGINADA POR LA CARGA RODANTE DE 890 N POR TIPO DE MADERA DE *Tectona grandis* DE UNA PLANTACIÓN SIN Y CON ACABADO

TIPO DE MADERA	TIPO DE ACABADO	MEDIDAS DE DEPRESION PROMEDIO (mm)		
		10 viajes	25 viajes	50 viajes
ALBURA Y DURAMEN	Sin acabado	0,30 (0,08; 26,63)	0,40 (0,09; 22,79)	0,46 (0,10; 22,55)
	Con acabado	0,27 (0,05; 19,37)	0,34 (0,06; 16,33)	0,39 (0,06; 16,50)
	F calculado	4,58*	10,41*	8,23*
DURAMEN	Sin acabado	0,28 (0,06; 20,15)	0,36 (0,07; 18,09)	0,44 (0,08; 18,99)
	Con acabado	0,26 (0,06; 21,30)	0,33 (0,06; 16,78)	0,38 (0,06; 15,68)
	F calculado	1,48 ^{ns}	3,32 ^{ns}	9,67*

NOTA: Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar y al coeficiente de variación respectivamente; ^{ns} No significativo al nivel de 5% de probabilidad; *Significativo al nivel de 5% de probabilidad.

En LA TABLA 19 se presentan los valores promedio de depresión para el ensayo de carga rodante sobre madera 100% duramen de *T. grandis* sin acabado y con acabado, observándose que existe diferencia significativa entre la depresión de la madera con acabado y la de sin acabado, con 95% de confianza, solo para 50 viajes. Mientras que para 10 y 25 viajes las depresiones producidas no difirieron

estadísticamente (ANEXO 2). Lo cual indica que el acabado con barniz DD mejora significativamente el desempeño de la madera de duramen al esfuerzo de carga rodante, solo para 50 viajes; mientras que para 10 y 25 viajes la aplicación de barniz DD a la madera de duramen no influyó en su desempeño de resistencia a la carga rodante. Esto probablemente esté relacionado con la masa específica y dureza del duramen, que al ser aplicado el barniz de poliuretano mejora la dureza superficial que se mantiene hasta los 50 viajes, mientras que el duramen sin acabado por encima de los 25 viajes se muestra con menor resistencia a la carga rodante, hasta alcanzar a los 50 viajes una diferencia significativa.

Oliveira et al. (2019) Considerando como referencia 50 viajes, establecieron clases de calidad de pisos de madera para el ensayo de carga rodante donde la clase de calidad alta presenta valores de depresión menores a 0,120 mm, la clase de calidad media presenta valores de depresión comprendido entre 0,121 y 0,300 mm y la clase de calidad baja presenta valores de depresión mayores a 0,301 mm. De acuerdo a los resultados obtenidos, para este ensayo, el piso de madera de *T. grandis*, sin acabado y con acabado, corresponde a la clase baja. Por lo tanto, pisos de madera de *T. grandis* no es adecuado para lugares donde ocurre el arrastre frecuente de objetos pesados como máquinas y equipos en empresas, estanterías en centros comerciales y armarios en casas de vivienda. Sin embargo, podría ser utilizado en ambientes de tránsito liviano.

4.2.3 Ensayo de cargas concentradas en pequeñas áreas

En la TABLA 20 se presentan los valores promedios de depresión ocasionados por el movimiento del rodillo endentado sobre la madera de *T. grandis* conformada por albura y duramen y madera conformada por 100% de duramen, con acabado y sin acabado, después de 50 y 100 viajes en cada caso.

Para la condición sin acabado, los valores promedios de depresión, ocasionado sobre la madera de albura y duramen difieren significativamente de las correspondientes depresiones ocasionadas en madera con 100% de duramen, para después de 50 y 100 viajes respectivamente (ANEXO 3).

Para las discusiones de los resultados se utilizó como parámetro de comparación los valores promedios obtenidos para 100 viajes.

De acuerdo a las depresiones mostradas en la TABLA 20, también se puede mencionar que la madera de *T. grandis* con 100% de duramen tiene mejor comportamiento que la madera conformada por albura y duramen a la aplicación de cargas concentradas en pequeñas áreas, tanto para 50 como para 100 viajes. Marchesan (2016) para la madera de *Hovenia dulcis* encontró valores promedio de depresión de 0,07 mm para la madera con 100% de duramen y 0,14 mm para madera con albura y duramen, con el mismo comportamiento encontrado en el presente estudio para *T. grandis*, es decir, la madera con 100% de duramen tiene mejor desempeño que la madera con albura y duramen, lo cual guarda relación con sus propiedades física y mecánica de masa específica básica y dureza, respectivamente.

TABLA 20 - VALORES PROMEDIO DE INDENTACIÓN CAUSADA POR LA APLICACIÓN DE CARGAS PUNTUALES SOBRE LA MADERA DE *Tectona grandis* DE UNA PLANTACIÓN SIN Y CON ACABADO

ACABADO	TIPO DE MADERA	MEDIDAS DE DEPRESION PROMEDIO POR NUMERO DE VIAJES (mm)	
		50 viajes	100 viajes
SIN ACABADO	Albura y duramen	0,104 (0,02; 19,39)	0,129 (0,02; 14,81)
	100% duramen	0,090 (0,02; 18,27)	0,109 (0,02; 17,1)
	Promedio general	0,097	0,119
	F calculado	14,18*	26,04*
CON ACABADO	Albura y duramen	0,090 (0,02; 21,81)	0,103 (0,02; 21,13)
	100% duramen	0,061 (0,02; 28,77)	0,094 (0,02; 18,93)
	Promedio general	0,076	0,099
	F calculado	56,56*	4,73*

NOTA: Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar y al coeficiente de variación respectivamente; * significativo al nivel de 5% de probabilidad.

En este ensayo de aplicación de cargas en pequeñas áreas, Blanco (2016) encontró para la madera de *T. grandis* un valor de depresión promedio de 0,10 mm, Marchesan (2016) encontró para la madera de *H. dulcis* un valor de depresión

promedio de 0,11 mm, valores que son menores al valor promedio de depresión encontrado en el presente estudio (0,119 mm), lo cual guarda relación con su respectiva masa específica básica encontrada en cada caso.

De manera similar a lo ocurrido en el ensayo de carga rodante, la resistencia a cargas concentradas en pequeñas áreas se relaciona en forma directa con la masa específica básica y la dureza. Igual comportamiento se puede observar en estudios similares para otras especies, tales como, Padilha et al (2006), para siete clones de *Eucalyptus grandis*, que encontraron una depresión promedio de 0,059 mm, Santos (2008), para un clon de *E. camaldulensis* encontró una depresión promedio de 0,045 mm, Martins et al (2013), para las especies *E. clöeziana* y *E. microcorys*, encontraron valores promedio de depresión de 0,023 mm y 0,050 mm, respectivamente, Silva (2019) para las especies de *Dipteryx odorata*, *Handroanthus spp*, *Hymenaea courbaril* y *Bowdichia virgilioides*, encontró valores promedio de depresión de 0,029 mm, 0,014 mm, 0,016 mm y 0,024 mm, respectivamente. El valor promedio de depresión indicado para cada especie es menor que la depresión promedio encontrada en el presente estudio para *T. grandis*, es decir, la madera de dichas especies tiene mayor resistencia a cargas concentradas en pequeñas áreas que la madera de *T. grandis*, influenciado por la masa específica básica, dureza, características anatómicas y composición química de la madera de cada especie.

Oliveira et al (2019) para las maderas de las especies Cumarú (*D. odorata*) e Ipê (*T. impetiginosa*) encontraron que no presentaron depresiones después de 100 viajes del rodillo endentado, los daños mencionados por los autores fueron solo surcos sobre la capa de barniz. Los autores sostienen que esos resultados pudieron ser debido a la dureza de esas maderas, relacionadas a sus densidades de 1,16 g.cm⁻³ y 1.07 g.cm⁻³, respectivamente.

Para la condición con acabado, en la TABLA 20, se puede apreciar que, al aplicar una capa de barniz DD, sobre el material de estudio, las depresiones provocadas por el rodillo endentado sobre la madera de *T. grandis* compuesto por albura y duramen y por 100% de duramen, disminuyeron en ambos casos en comparación a la condición sin acabado, mejorando su desempeño para dichos esfuerzos. Sin embargo, se mantiene la diferencia significativa con 95% de confianza entre las depresiones ocurridas sobre la madera compuesto por albura y

duramen y por 100% de duramen, para 50 y 100 viajes, respectivamente (ANEXO 3).

En la TABLA 21 se presentan los valores promedios de depresión causadas por la aplicación de cargas puntuales sobre la madera de *T. grandis* con albura y duramen y con 100% de duramen, considerando madera sin acabado y con acabado, pudiéndose observar que la resistencia a cargas concentradas en pequeñas áreas de la madera *T. grandis* sin acabado y con acabado difieren significativamente con 95% de confianza, tanto para la madera con albura y duramen como para aquella con 100% de duramen.

TABLA 21 - VALORES PROMEDIOS DE INDENTACIÓN CAUSADA POR LA APLICACIÓN DE CARGAS PUNTUALES SOBRE LA MADERA DE *Tectona grandis* DE UNA PLANTACIÓN, SIN Y CON ACABADO CON FINES COMPARATIVOS

PISOS DE MADERA	MEDIDAS DE DEPRESIÓN PROMEDIO (mm)	
	50 VIAJES	100 VIAJES
Sin acabado	0,097 (0,02; 20,24)	0,119 (0,02; 17,83)
Con acabado	0,076 (0,02; 31,05)	0,099 (0,02; 20,57)
F calculado	60,04*	52,53*

NOTA: Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar y al coeficiente de variación respectivamente; * Significativo al nivel de 5% de probabilidad.

Con los resultados obtenidos, se confirma que el acabado con barniz DD mejora el desempeño de la madera al ensayo de cargas concentradas en pequeñas áreas tanto para 50 viajes, como para 100 viajes.

Con la aplicación de barniz DD, la madera de *T. grandis* sufre una menor indentación por cargas concentradas en pequeñas áreas, es decir, mejora su desempeño en 16,81%, como se mencionó anteriormente, el barniz de poliuretano le otorga a la superficie aplicada una mayor dureza superficial y mayor resistencia.

Oliveira et al. (2019) Establecieron clases de calidad de pisos de madera para el ensayo de aplicación de cargas en pequeñas áreas donde la clase de calidad alta presenta valores de depresión menores a 0,005 mm, la clase de calidad media presenta valores de depresión comprendido entre 0,006 y 0,030 mm y la clase de calidad baja presenta valores de depresión mayores a 0,031 mm. De acuerdo a los resultados obtenidos, para este ensayo, la madera de *T. grandis*, sin

acabado (0,119 mm) y con acabado (0,099 mm), corresponde a la clase baja. Por lo tanto, pisos de madera de *T. grandis* no sería adecuado para ambientes de alto tránsito de objetos puntiagudos, sin embargo, podría emplearse para pisos de tránsito liviano.

4.2.4 Ensayo de impacto de caída de esfera de acero

Las depresiones causadas por el impacto de caída de la esfera de acero, para una altura de 180 cm, sobre la madera de *T. grandis*, sin acabado, compuesto por albura y duramen en diferentes proporciones y por 100% de duramen fueron estadísticamente diferentes, al 5% de probabilidades de error. Notándose que la madera con 100% de duramen tuvo mejor desempeño que la madera compuesto por albura y duramen.

En la TABLA 22 se presentan los valores promedios de las depresiones ocasionadas por el impacto de caída de la esfera de acero desde una altura de 180 cm, sobre la madera de *T. grandis* sin acabado y con acabado, considerando madera con albura y duramen, así como madera con 100% de duramen.

TABLA 22 - VALORES PROMEDIOS DE DEPRESIÓN OCASIONADAS POR EL IMPACTO DE CAIDA DE LA ESFERA DE ACERO EN MADERA DE *Tectona grandis* SIN Y CON ACABADO A 1.800 mm DE ALTURA

PISOS DE MADERA	MEDIDAS DE DEPRESIÓN (mm)		F calculado
	SIN ACABADO	CON ACABADO	
Albura y duramen	0,50 (0,08; 15,38)	0,49 (0,04; 8,71)	0,15 ^{ns}
100% duramen	0,45 (0,04; 7,93)	0,45 (0,06; 14,17)	0,00 ^{ns}
Promedio general	0,48	0,47	0,13 ^{ns}
F calculado	4,58 *	1,69 ^{ns}	

NOTA: Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar y al coeficiente de variación respectivamente; * Significativo al nivel de 5% de probabilidad; ^{ns}No significativo.

Similares resultados se obtuvieron para las alturas de ensayo de 15 cm, 30 cm, 75 cm, 120 cm y 165 cm, para las otras alturas ensayadas no se encontró diferencia significativa, con 95% de confianza (ANEXO 4). Este comportamiento

podría estar relacionado con la diferente proporción de albura presente en las respectivas probetas de ensayo, el hecho de que el duramen tuvo mayor masa específica básica y dureza que la albura y a la variabilidad de la madera como respuesta a sus propiedades anatómicas, químicas, físicas y mecánicas.

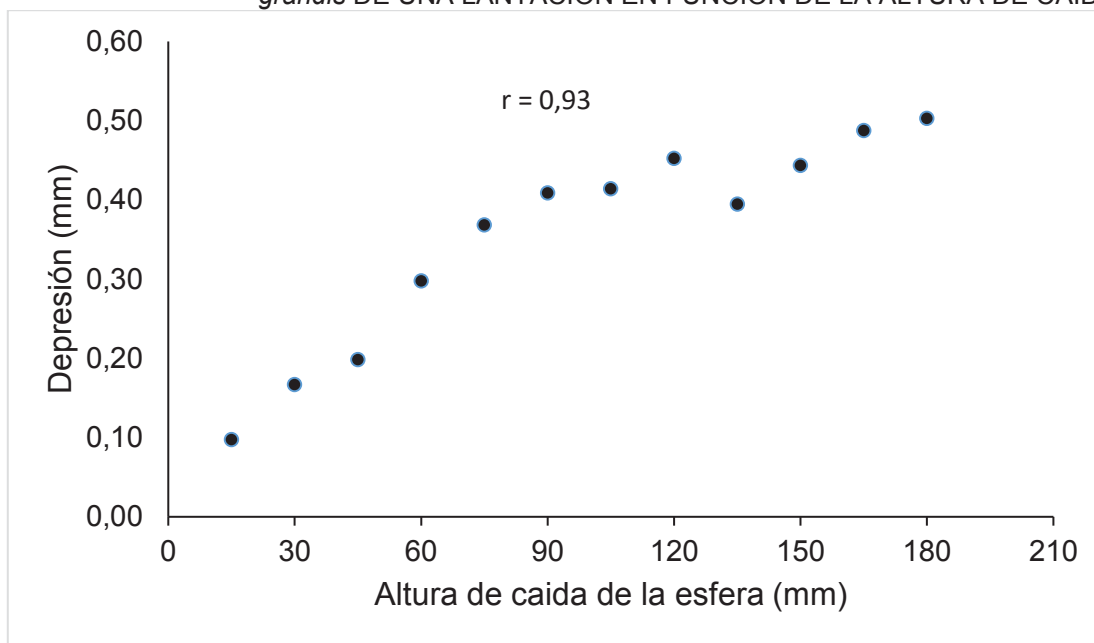
Al aplicar el acabado con barniz DD y para una altura de 180 cm de caída, se encontró que las depresiones originadas por el impacto de la esfera sobre la madera de *T. grandis*, con acabado, compuesto por albura y duramen y con 100% de duramen no fueron diferentes en forma significativa, al 5% de probabilidades de error, igual comportamiento se observó para la mayoría de las alturas de caída; sin embargo para las alturas de caída de 60 cm, 75 cm y 135 cm se observó que hay diferencia significativa al 5% de probabilidades entre las depresiones originadas por el impacto de caída de la esfera sobre la madera compuesto por albura y duramen y con 100% de duramen (ANEXO 4).

Se observa que al aplicar el barniz de poliuretano mejora la resistencia al impacto de caída, de la madera de *T. grandis*, con tendencia a uniformizar la resistencia al impacto entre madera compuesto por 100% duramen y madera compuesto por albura y duramen. No se observó diferencias significativas entre las resistencias al impacto para las condiciones sin acabado y con acabado.

En las FIGURAS 22 y 23 se pueden observar el grado de asociación existente entre la altura de caída de la esfera y la depresión ocasionada por el impacto sobre la madera, sin acabado, compuesto por albura y duramen y con 100% de duramen respectivamente. Se observó que a mayor altura de caída mayor fue la depresión originada, lo cual fue un resultado esperado.

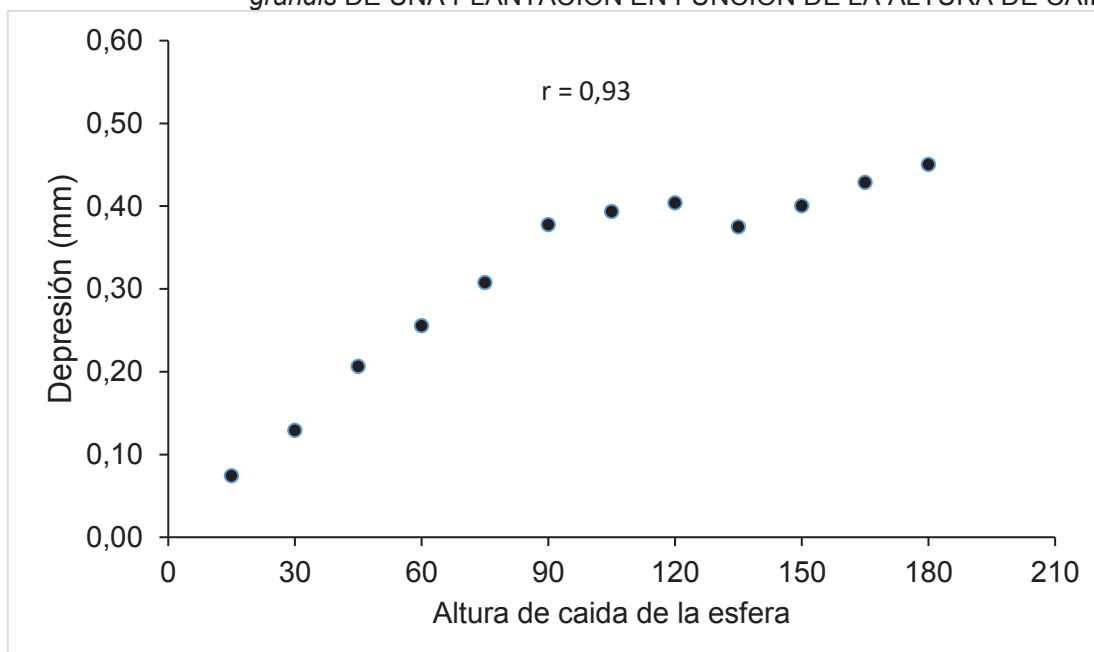
Al analizar la variación de la profundidad de las depresiones según las alturas de caída se observó una fuerte correlación positiva entre dichas variables, tanto para la madera compuesto por albura y duramen ($r=0,93$) como para la madera compuesto solo por duramen ($r=0,93$), en condición sin acabado. Similar comportamiento se observó para la condición con acabado, tanto para la madera con albura y duramen ($r=0,89$) como para la madera con 100% de duramen ($r=0,94$).

FIGURA 22 - DEPRESION OCASIONADA POR EL IMPACTO DE LA ESFERA DE ACERO SOBRE LA MADERA CON ALBURA Y DURAMEN SIN ACABADO DE *Tectona grandis* DE UNA LANTACIÓN EN FUNCION DE LA ALTURA DE CAIDA



FUENTE: El autor (2020)

FIGURA 23 - DEPRESION OCASIONADA POR EL IMPACTO DE LA ESFERA DE ACERO SOBRE LA MADERA CON 100% DE DURAMEN SIN ACABADO DE *Tectona grandis* DE UNA PLANTACIÓN EN FUNCION DE LA ALTURA DE CAIDA



FUENTE: El autor (2020)

De acuerdo a la tendencia mostrada, se determinó la ecuación de regresión lineal, con la finalidad de estimar la depresión para la altura de caída de 1800 mm, la cual será el índice de resistencia a la hendidura según sea el caso. Los resultados se presentan en la TABLA 23. Estos índices de resistencia calculados serán, utilizados como parámetros de comparación con los resultados de otros estudios.

TABLA 23 - ÍNDICE DE RESISTENCIA A LA HENDIDURA POR EL IMPACTO DE LA ESFERA DE ACERO SOBRE LA MADERA DE *Tectona grandis* DE UNA PLANTACIÓN PARA UNA ALTURA DE CAÍDA DE 1.800 mm

PISOS DE MADERA	ECUACIÓN DE TENDENCIA	ÍNDICE DE RESISTENCIA A LA HENDIDURA (mm)
Albura y duramen sin acabado	$Y = 0,1302 + 0,0023(X)$	0,54
100% Duramen sin acabado	$Y = 0,1103 + 0,0021(X)$	0,49
Albura y duramen con acabado	$Y = 0,1383 + 0,0022(X)$	0,53
100% Duramen con acabado	$Y = 0,0914 + 0,0022(X)$	0,49

NOTA: Y= Índice de resistencia; X= altura de caída de esfera en cm.

Teniendo en cuenta que una menor depresión significa mayor resistencia, en la TABLA 23 se puede observar que la madera, sin acabado, compuesta de albura y duramen tuvo un índice de resistencia mayor que la madera compuesta por 100% duramen. Este comportamiento podría estar relacionado con el hecho de que la albura tiene una menor masa específica y una menor dureza janka que el duramen. El acabado con barniz DD no contribuyó a disminuir el índice de resistencia a la hendidura por el impacto de caída de esfera.

Soler (2014) en busca de sustituir la madera de cumarú, como materia prima para la fabricación de pisos, al evaluar la madera de *T. grandis* encontró para una altura de caída de 180 cm una depresión promedio mayor a la encontrada en este estudio, es decir, menor resistencia al impacto de caída. Por otro lado, Blanco (2016) para madera de *T. grandis*, para una altura de caída de 1.800 mm, encontró una depresión de 0,50 mm y un índice de resistencia a la hendidura de 0,49 mm, resultados similares a los encontrados en este estudio. A pesar de ser la misma especie, los resultados son diferentes, lo cual podría deberse a factores como la edad, la procedencia, material genético y la variabilidad propia de la madera que podrían explicar este comportamiento.

Marchesan (2016) para la especie *H. dulcis* encontró, para una altura de caída de 180 cm, para la madera compuesta por albura y duramen y madera compuesta por 100% de duramen, resultados menores a los encontrados para la madera de *T. grandis*, es decir la especie *H. dulcis* (0,37 mm) tiene mayor resistencia al impacto de caída que la *T. grandis* (0,48 mm), esta diferencia guarda relación con la masa específica básica de la *H. dulcis* ($0,54 \text{ g.cm}^{-3}$) y de *T. grandis* ($0,53 \text{ g.cm}^{-3}$). Así mismo, la autora al evaluar por separado madera compuesto por albura y duramen y madera con 100% duramen, indica que la madera con 100% duramen tiene mayor resistencia al impacto de caída que la madera con albura y duramen, comportamiento similar a lo encontrado para *T. grandis*.

Según Gonzales (2006) la respuesta del piso a las cargas de impacto depende de varias propiedades combinadas de la madera, tales como flexibilidad, dureza y resiliencia. La madera de *T. grandis*, materia de estudio, tiene buena resistencia a la flexión y una tenacidad de 1,94 Kg-m, tenacidad clasificada como baja de acuerdo a la clasificación de Aróstegui et al. (1980), aspectos que tendrían influencia sobre la resistencia al impacto de caída de la esfera.

Martins et al. (2013), para las especies de *E. clöziana* (0,28 mm) y para *E. microcorys* (0,24 mm) y Padilha et al. (2006), para siete clones de *E. urophylla* (0,47 mm), encontraron valores de índices de resistencia a la hendidura que son menores a lo encontrado para *T. grandis*. Para las dos primeras especies de eucalipto, los autores indican que tienen masa específica básica $0,74 \text{ g.cm}^{-3}$ y $0,80 \text{ g.cm}^{-3}$, respectivamente, mientras que para los clones de *E. urophylla*, los autores señalan una masa específica básica que es similar a la de *T. grandis*. Lo que confirma la relación directa entre la masa específica básica y la resistencia al impacto de caída.

Silva (2019) al evaluar la calidad de pisos macizos, sin acabado, de maderas tropicales, de bosques nativos, determinó valores de índices de resistencia a la hendidura de las especies *D. odorata* (cumarú) de 0,20 mm, *Handroanthus spp.* (Ipê) de 0,18 mm, *H. courbaril* Linnaeus (jatobá) de 0,32 mm, *A. lecointei* Ducke (muiracatiara) de 0,34 mm y *B. virgilioides* (sucupira-preta) de 0,47 mm. La madera de las especies mencionadas tiene índice de resistencia a la hendidura menor que la madera de *T. grandis*, esta diferencia podría estar relacionado a la masa específica básica de las maderas, donde la madera de *T. grandis* es la que tiene menor masa específica básica. Se mantiene la relación

directa existente entre la masa específica básica y la resistencia al impacto de caída.

Oliveira et al. (2019) en ensayos de simulación de pisos en servicio, determinaron valores de índice de resistencia a la hendidura para las especies Cumarú (*D. odorata*) de 0,19 mm, Ipê (*T. impetiginosa*) de 0,24 mm, Sucupira (*B. nítida*) de 0,39 mm y Amêndola (*M. scabrella*) de 0,54 mm. Según el índice de resistencia a la hendidura, la madera de las especies cumarú, ipê y sucupira tienen mayor resistencia al impacto de caída que la madera de *T. grandis*, mientras que la madera de Amêndola tiene una menor resistencia al impacto de caída. Para las especies mencionadas, se observa que a mayor masa específica básica de la madera corresponde un menor índice de resistencia a la hendidura por impacto de caída, es decir, a mayor masa específica básica se tiene una mayor resistencia al impacto de caída.

Según la tabla de clasificación propuesta por Oliveira et al (2019), la madera de *T. grandis* puede ser clasificada como de baja resistencia al impacto de caída de esfera de acero. Sin embargo, la madera de *T. grandis* tiene ciertas características deseables para la fabricación de pisos, es de buena estabilidad dimensional, de masa específica básica media, de grano recto a entrecruzado y de una buena apariencia por su diferenciación de color entre albura y duramen. Por lo que podría ser utilizado, con buenos resultados, para la fabricación de piso de tránsito liviano.

4.2.5 Ensayo de abrasividad

El ensayo de abrasión es uno de los factores más importantes para determinar el rendimiento de la vida útil de los pisos (CORTEZ et al. 2014)

En la TABLA 24 se puede observar los valores promedios de depresión ocasionados por la abrasión, después de 500 ciclos, sobre la madera de *T. grandis* en condiciones de sin acabado y con acabado. Para la condición sin acabado, se encontró que la depresión promedio ocurrida en la madera con albura y duramen (0,10 mm) no fue diferente en forma significativa de la depresión promedio ocurrida en la madera con 100% de duramen (0,09 mm) (ANEXO 5).

De igual forma, para la madera con acabado, se encontró que la depresión promedio ocurrida en la madera con albura y duramen (0,06 mm) no fue diferente en forma significativa de la depresión promedio ocurrida en la madera con 100% de duramen (0,05 mm), lo cual indica que la presencia de albura en la madera de *T. grandis*, con acabado y sin acabado, no influyó significativamente en su resistencia a la abrasión.

Sin embargo, al comparar el comportamiento de la madera sin y con acabado se observó que la depresión promedio en la madera sin acabado fue significativamente mayor que la depresión ocurrida en la madera con acabado de barniz DD.

TABLA 24 - VALORES PROMEDIOS DE DEPRESIÓN OCURRIDOS POR LA ABRASIÓN EN LA MADERA DE *Tectona grandis* DE UNA PLANTACIÓN SIN Y CON ACABADO

PISOS DE MADERA	MEDIDAS DE DEPRESIÓN (mm)		F calculado
	Sin acabado	Con acabado	
Albura y duramen	0,10 (0,03; 31,76%)	0,06 (0,022; 38,35%)	28,34 *
100% duramen	0,09 (0,04; 44,27%)	0,05 (0,018; 38,19%)	23,93 *
Promedio general	0,09	0,05	52,15 *
F calculado	0,71 ^{ns}	3,28 ^{ns}	

NOTA: Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar y al coeficiente de variación respectivamente; *Significativo al nivel de 5% de probabilidad; ^{ns}No significativo.

Blanco (2016) para madera de *T. grandis* sometida a esfuerzos de abrasión encontró una depresión promedio de 0,10 mm, valor que es ligeramente mayor al valor promedio encontrado en el presente estudio (0,09 mm), lo cual guarda relación con la similitud de sus respectivas masas específicas básicas. La autora indica que una depresión de 0,10 mm puede ser considerada como alta. Lo que estaría indicando que la madera de *T. grandis* tiene moderada resistencia superficial a los esfuerzos de abrasión.

Marchesan (2016) estudiando a la madera de *H. dulcis*, en ensayos de abrasión, encontró una depresión promedio de 0,08 mm, valor que es ligeramente menor a la depresión promedio encontrada para *T. grandis*. Sin embargo, la depresión en madera de *H. dulcis* con 100% de duramen (0,04 mm) es menor a la

depresión encontrada para madera de *T. grandis* con 100% de duramen (0,09 mm), no obstante que ambas especies tienen similar masa específica básica promedio, la madera de duramen de *H. dulcis* tiene una masa específica básica (0,60 g.cm⁻³) mayor que la de duramen de *T. grandis* (0,56 g.cm⁻³).

Martins et al. (2013) al evaluar la resistencia a la abrasión de pisos de madera de las especies de *E. clöeziana* y *E. microcorys* encontraron valores promedio de depresión de 0,06 mm y 0,07 mm, respectivamente. Al considerar la masa específica básica, se observa que la madera de *E. clöeziana* tiene menor masa específica básica (0,74 g.cm⁻³) que la madera de *E. microcorys* (0,80 g.cm⁻³), no mostrando una relación entre la resistencia a la abrasión y la masa específica básica. Los valores de depresión mostrados son menores al promedio encontrado para *T. grandis*, sin guardar relación con la masa específica básica de cada especie.

Al respecto, Berndsen et al. (2014) al realizar ensayo de abrasión en bambú mossó (*Phyllostachys pubescens*) para pisos macizos, determinaron que mayores densidades no siempre se refleja en mayor resistencia al desgaste.

Silva (2019) al evaluar la resistencia a la abrasión de maderas de bosques naturales, empleados en la fabricación de pisos, tales como, *D. odorata*, *Handroanthus* sp, *Hymenaea courbaril* y *Bowdichia virgilioides*, encontró valores promedio de depresión de 0,145 mm, 0,140 mm, 0,095 mm y 0,10 mm, respectivamente; valores que son mayores al promedio encontrado para *T. grandis*. Teniendo en cuenta que a mayor depresión corresponde una menor resistencia a la abrasión, se puede inferir que la madera de *T. grandis* tiene cierta ventaja sobre la madera de *D. odorata* y de *Handroanthus spp*, sometidas a esfuerzos de abrasión.

Silva (2019), no encontró correlación significativa entre la masa específica básica de la madera y la resistencia a la abrasión, en forma similar Martins et al. (2013) obtuvieron resultados de abrasión que no guardan relación con la masa específica básica de las especies estudiadas. Por tal motivo, se deben considerar otras características de la madera, propias de una especie, como la estructura anatómica, composición química, herencia genética, edad, entre otros. Moreshi (2005) señala que la abrasión es un fenómeno tan complejo que no existe prueba

estandarizada para este propósito, solo es posible simular escenarios de madera en servicio con fines comparativos.

De manera general se puede afirmar que la madera de *T. grandis* presentó buen comportamiento a los esfuerzos de abrasión, pudiendo ser utilizada en la fabricación de pisos de madera que soportarán alto índice de tránsito.

Al aplicar una capa de acabado con barniz DD a la madera de *T. grandis*, se observó que la depresión disminuyó significativamente con 5% de probabilidades de error (ANEXO 5), en el orden de 40% tanto para la madera conformada por albura y duramen, así como para la madera conformada solo por duramen. Esta mayor resistencia a la abrasión está relacionada con la característica del barniz de poliuretano que les proporciona a las superficies mayor dureza y resistencia mecánica.

4.2.6 Ensayo de rozamiento estático y dinámico

En la TABLA 25 se presentan los valores promedios de los coeficientes de fricción estático y dinámico de la madera, sin acabado, de *T. grandis* con albura y duramen y de la madera con 100% de duramen.

TABLA 25 - VALORES PROMEDIOS DE LOS COEFICIENTES DE FRICCIÓN ESTÁTICO Y DINÁMICO EN MADERA DE *Tectona grandis* DE UNA PLANTACIÓN SIN ACABADO

PISOS DE MADERA	COEFICIENTE DE FRICCIÓN	
	ESTÁTICO	DINÁMICO
Albura y duramen	0,41 (0,07; 16,69%)	0,24 (0,05; 24,14%)
100% duramen	0,51 (0,10; 18,86%)	0,31 (0,05; 16,10%)
Promedio general	0,46	0,28
F calculado	24,99*	28,45*

NOTA: Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar y al coeficiente de variación respectivamente; * Significativo al nivel de 5% de probabilidad.

Al comparar el comportamiento de los respectivos coeficientes de fricción, se encontró que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que los

coeficientes de fricción estático y dinámico fueron diferentes al nivel de 5% de probabilidades de error (ANEXO 6). Lo que indica que la madera de *T. grandis* con 100% de duramen es menos resbaladiza que la madera con albura y duramen.

La diferencia que hay entre los coeficientes de rozamiento de la madera con 100% duramen y la madera con albura y duramen, podría estar relacionado con la variación radial de las características anatómicas de la madera, Chuquicaja et al. (2020) encontraron que la longitud de fibra, longitud de vaso y el diámetro de vasos se incrementan desde la médula hacia la corteza mientras que la frecuencia de vasos disminuye en la misma dirección. También podría influir la textura de la madera, la rugosidad de la superficie y la variabilidad propia de la madera.

Para superficie de madera sin acabado, Blanco (2016), para la especie *T. grandis* encontró valores promedios de coeficiente de rozamiento estático y dinámico de 0,37 y 0,18, respectivamente. Estos valores son menores a lo encontrado para la misma especie en este estudio, es decir, son superficies más resbaladizas a pesar de ser la misma especie. Esto podría estar relacionado con la edad de los árboles, procedencia, material genético empleado en la plantación y la variabilidad de la madera.

Marchesan (2016), para la especie *H. dulcis*, obtuvo valores promedios de coeficientes de rozamiento estático y dinámico de 0,47 y 0,25, respectivamente; estos valores son similares a los correspondientes valores encontrados para la madera de *T. grandis*. Lo cual podría explicarse por posibles similares características de la superficie de la madera de ambas especies y algunas características anatómicas, ambas tienen fibra corta, grano recto ligeramente entrecruzado, así como fácil diferenciación entre albura y duramen.

Silva (2019) al evaluar la calidad de pisos macizos, sin acabado, de maderas tropicales, de bosques nativos, determinó valores promedios de coeficientes de rozamiento estático y dinámico de las especies *D. odorata* (cumaru) (0,62 y 0,32), *Handroanthus spp.* (Ipê) (0,62 y 0,25), *H. courbaril* (jatobá) (0,60 y 0,26), *A. lecointei* Ducke (muiracatiara) (0,54 y 0,13) y *B. virgilioides* (sucupira-preta) (0,63 y 0,27). La madera de las especies mencionadas tiene coeficientes de rozamiento estático mayor que la madera de *T. grandis* sin acabado (0,46), esta diferencia podría estar relacionado a su respectiva masa específica básica, características de la superficie de la madera, influenciadas por sus características

anatómicas y químicas de la madera. Al respecto Silva (2019) señala que los coeficientes de rozamiento presentan correlación significativa y positiva moderada con la masa específica de la madera, así mismo precisa que maderas más densas resultan en pisos más seguros para el tráfico de personas.

Por otro lado, el valor promedio del coeficiente de rozamiento dinámico de la madera sin acabado de *T. grandis* es similar a los coeficientes de rozamiento dinámico determinados por Silva (2019) para las especies mencionadas en el párrafo anterior.

En la TABLA 26 se presentan los valores promedios de los coeficientes de fricción estático y dinámico de la madera, con acabado, de *T. grandis* con albura y duramen (0,42 y 0,36, respectivamente) y de la madera con 100% de duramen (0,48 y 0,36, respectivamente). Al comparar el comportamiento del coeficiente de rozamiento estático, de la madera con albura y duramen con el de la madera con 100% de duramen, se encontró que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que estos coeficientes de fricción estáticos son diferentes al nivel de 5% de probabilidades. Lo que indica que la madera de *T. grandis* con 100% de duramen y con acabado es menos resbaladiza que la madera con albura y duramen. Por otro lado, la madera con acabado de *Tectona grandis* con albura y duramen y con 100% de duramen tuvieron igual coeficiente de rozamiento dinámico (ANEXO 6).

TABLA 26 - VALORES PROMEDIOS DE LOS COEFICIENTES DE FRICCIÓN ESTÁTICO Y DINÁMICO EN MADERA DE *Tectona grandis* DE UNA PLANTACIÓN CON ACABADO

PISOS DE MADERA	COEFICIENTE DE FRICCIÓN	
	ESTÁTICO	DINÁMICO
Albura y duramen	0,42 (0,07; 15,47)	0,36 (0,05; 14,30)
100% duramen	0,48 (0,10; 20,03)	0,36 (0,05; 13,64)
Promedio general	0,45	0,36
F calculado	7,58*	0,05 ^{ns}

NOTA: Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar y al coeficiente de variación respectivamente; * Significativo al nivel de 5% de probabilidad; ^{ns}No significativo.

Con el acabado se ha conseguido uniformizar la superficie de la probeta de ensayo, de tal manera que, la fuerza necesaria para iniciar el desplazamiento, a

partir del reposo, en madera con albura y duramen y con 100% de duramen, aún son diferentes estadísticamente, pero más próximos que en el caso de madera sin acabado. Por otro lado, la fuerza necesaria para mantener un movimiento ya iniciado es igual en madera con albura y duramen y en madera con 100% de duramen.

Blanco (2016) para superficie de madera con acabado, de *T. grandis* encontró valores promedios de coeficiente de rozamiento estático y dinámico de 0,46 y 0,30, respectivamente. Estos valores son aproximados a lo encontrado para *T. grandis*.

Padilha et al. (2006) al evaluar la calidad de madera para pisos, con acabado, de siete clones de *E. urophylla*, de 8 años de edad, encontraron valores promedios de coeficientes de rozamiento estático y dinámico de 0,38 y 0,23, respectivamente. Estos valores son menores a lo encontrado para *T. grandis*, lo cual podría atribuirse a la diferencia de las características anatómicas físicas y químicas de las especies y a la rugosidad de la superficie de las maderas.

Martins et al. (2013) al evaluar los coeficientes de rozamiento estático y dinámico en pisos de madera, con acabado, encontraron valores promedios para la especie *E. clöeziana* (0,25 y 0,15, respectivamente) y para *E. microcorys* (0,28 y 0,13, respectivamente). Al considerar la masa específica básica, se observa que la madera de *E. clöeziana* tiene menor masa específica básica ($0,74 \text{ g.cm}^{-3}$) que la madera de *E. microcorys* ($0,80 \text{ g.cm}^{-3}$), mostrando una relación positiva entre los coeficientes de rozamiento estático y la masa específica básica (SILVA, 2019).

Los valores de los coeficientes de rozamiento encontrados por Martins et al. (2013) son menores a los respectivos valores promedios encontrados para *T. grandis*. Lo que significa que la superficie de la madera de *T. grandis* es menos resbaladiza que las maderas de eucalipto mencionadas.

Oliveira et al. (2019) encontraron valores promedios de coeficientes de rozamiento estático y dinámico en pisos de madera con acabado para las especies Cumarú (*D. odorata*) (0,25 y 0,18), Ipê (*T. impetiginosa*) (0,27 y 0,20), Sucupira (*B. nítida*) (0,25 y 0,17) y Amêndola (*M. scabrella*) (0,27 y 0,15). Estos coeficientes de rozamiento estático y dinámico son menores a los respectivos coeficientes encontrados para la madera de *T. grandis* con acabado.

En la TABLA 27 se presentan los valores promedios de los coeficientes de rozamiento en madera de *T. grandis*, sin y con acabado. Al comparar el comportamiento de los respectivos coeficientes de rozamiento se encontró que el coeficiente de rozamiento estático no varió significativamente; mientras que el coeficiente de rozamiento dinámico con acabado fue significativamente mayor que el respectivo coeficiente sin acabado; comportamiento diferente a lo esperado, se esperaba que con el acabado el valor de los coeficientes de rozamiento disminuyese, asumiendo que la superficie sería más lisa.

TABLA 27 - VALORES PROMEDIOS DE LOS COEFICIENTES DE FRICCIÓN ESTÁTICO Y DINÁMICO EN MADERA DE *Tectona grandis* DE UNA PLANTACIÓN SIN Y CON ACABADO

PISOS DE MADERA	COEFICIENTE DE FRICCIÓN	
	ESTÁTICO	DINÁMICO
Sin acabado	0,46 (0,10; 21,06)	0,28 (0,06; 21,15)
Con acabado	0,45 (0,09; 19,04)	0,36 (0,05; 13,87)
F calculado	0,17 ^{ns}	89,02*

NOTA: Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar y al coeficiente de variación respectivamente; *Significativo al nivel de 5% de probabilidad; ^{ns}No significativo.

El mismo comportamiento se observó cuando la comparación se hizo por separado en madera de *T. grandis* con albura y duramen y en madera con 100% de duramen. Este comportamiento podría estar relacionado con la composición química de la madera y con la rugosidad de las superficies. La capa de barniz de poliuretano podría estar ocultando sustancias oleosas presentes en la superficie de la madera sin acabado y al mismo tiempo uniformizando la rugosidad de la superficie.

Blanco (2016) al hacer una simulación de pisos de madera en servicio con madera de *T. grandis*, sin acabado y con dos acabados encontró que al aplicar el acabado con cera, el coeficiente de rozamiento estático fue menor que el de sin acabado; mientras que el coeficiente de rozamiento dinámico fue mayor que el de sin acabado. La misma autora, al aplicar el acabado con barniz encontró que ambos coeficientes de rozamiento fueron mayores que el de sin acabado. En este estudio, al determinar los coeficientes de rozamientos de la madera de *T. grandis* sin y con acabado con barniz DD también se encontró similar tendencia. Este

comportamiento podría estar relacionado con la rugosidad uniforme de la superficie acabada con barniz y características propias de la especie.

Según la clasificación de Oliveira (2019), los valores promedios de los coeficientes de rozamiento estático y de rozamiento dinámico, determinados para *T. grandis* corresponden a la clasificación alto. Valores de coeficientes de rozamientos altos corresponden a superficies menos resbaladizas, por lo tanto la madera de *T. grandis*, en base al coeficiente de rozamiento determinado, puede ser considerada apta para la fabricación de pisos.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la caracterización de la madera de *Tectona grandis* de 32 años, plantados en Perú, se arribó a las siguientes conclusiones:

- ❖ El volumen del duramen representa el 60% del volumen total del fuste comercial sin corteza, con baja excentricidad de médula, que la caracteriza como madera con bajo contenido de madera de reacción.
- ❖ Madera de textura media, compuesta de fibras cortas y pared muy delgada, con radios homocelulares formado por células procumbentes.
- ❖ La madera en su composición química presenta bajo contenido de holocelulosa y alto contenido de lignina lo que contribuye a su buena estabilidad dimensional, con pH neutro ligeramente alcalino.
- ❖ Madera de masa específica media, con baja contracción volumétrica y coeficiente anisotrópico medio, lo cual ratifica su aptitud para los usos que requieren de buena estabilidad dimensional, como son los pisos.
- ❖ La madera se caracteriza por tener alta resistencia a la flexión estática, rigidez media en flexión estática, resistencia media a la compresión paralela y al cizallamiento y dureza alta, calificándola como madera con potencialidad para su utilización en productos de madera sólida.
- ❖ Siendo la dureza de la madera una de las propiedades importantes en la definición de la calidad de pisos, de acuerdo la alta dureza encontrada se concluye que la madera de *T. grandis* tiene potencial para ser utilizada en la fabricación de pisos de madera.

De los ensayos de simulación de pisos de madera en servicio se concluye que:

- ❖ La madera tiene buena resistencia a la abrasividad y superficie con altos coeficientes de rozamiento estático y dinámico.
- ❖ El acabado con barniz DD mejora significativamente el desempeño de la madera en los ensayos de carga rodante, aplicación de cargas en pequeñas áreas, abrasividad y en el coeficiente de rozamiento dinámico.

- ❖ La madera tiene baja resistencia para los esfuerzos máximos en los ensayos de carga rodante, aplicación de cargas en pequeñas áreas y en el de caída de esfera sobre la superficie.
- ❖ La madera de *T. grandis* puede ser utilizado en la fabricación de pisos de madera maciza, para tránsito liviano o para locales donde no se expongan a cargas altas.

En base a las conclusiones del estudio se recomienda:

- ❖ Realizar estudios sobre el efecto del manejo de las plantaciones de *T. grandis*, sobre las propiedades anatómicas, químicas, físicas y mecánicas de la madera.
- ❖ Realizar estudios sobre la variación de las propiedades de la madera de *T. grandis* de acuerdo a la edad, que permita definir la edad tecnológica de aprovechamiento, de acuerdo a la calidad de sitio.
- ❖ Como una forma de uniformizar la calidad de la madera, se recomienda hacer investigaciones sobre propagación clonal de la especie, para las condiciones locales.

REFERENCIAS

ACEVEDO, M. **Características tecnológicas de maderas peruanas**. Universidad Nacional Agraria La Molina. 2011. 320p.

ALVES, R. C.; MOTTA, J. P.; OLIVEIRA, J. T. DA S. **Relação entre a estrutura anatômica e algumas propriedades da madeira de angelim-pedra (*Hymenolobium petraeum*, Leguminosae)**. XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 143-94**. United States, 2000. 31 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2394-05**. United States. 2008. p. 288 – 298.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1977. 107 p.

AROSTEGUI, V. A.; GONZALEZ, F. V. R.; SATO, A. A. Propiedades tecnológicas y uso de la madera de 40 especies del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt. **Revista Forestal del Perú**, v. 10, n. 1-2, p. 1-86, 1980.

ARROYO, P. J. **Propiedades físico-mecánicas de la madera**. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. Mérida, 1983.

BARCENAS, P. G.; DAVALOS, S. R. Importancia de la lignina en las contracciones de la madera: revisión bibliográfica. **Madera y Bosques**, v. 5, n. 1, p. 13 – 26, 1999.

BERNDSEN, R.S.; KLITZKE, R. J.; BATISTA, D. C.; NASCIMENTO, E. M.; OSTAPIV, F. Mechanical resistance of moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) part 2: axial tensile strength, hardness and wear resistance. **FLORESTA**, Curitiba, v.44, n.3, p. 505-514, 2014.

BETANCUR, C. A. S.; HERRERA, J. F. B.; MEJIA, L. C. M. Estudio de las propiedades físicas y mecánicas, trabajabilidad y secado de la teca (*Tectona grandis* L. f) de Puerto Libertador (Córdova). **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v. 53, n. 1, p. 913-939, 2000.

BHAT, K.M.; PRIYA, P. B.; RUGMINI, P. Characterisation of juvenile wood in teak. **Wood Science and Technology**, v. 34, n. 6, p. 517-532, 2001

BLANCO, F. J. **Caracterização tecnológica da madeira jovem de teca (*Tectona grandis* L.f)**. 2012. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

BLANCO, F. J.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; GHERARDI, H. P. R.; MOREIRA, S. J. R. Caracterización de la madera joven de *Tectona grandis* L. f. plantada en Brasil. **Madera y Bosques**, v. 20, n.1, p. 11-20, 2014.

BLANCO, F. J.; MOREIRA, S. J. R.; CARVALHO, B. P. P.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F. Simulação em serviço de pisos de madeira jovem de *Tectona grandis*. **Revista Matéria**, v. 20, n. 4, p. 1048 – 1060, 2015.

BLANCO, F. J. **Comportamento em serviço da madeira jovem de *Tectona grandis* L.f com diferentes acabamentos para uso em ambiente externo**. 2016. 109 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG-Brasil, 2016.

BULNES, F. C.; OCAÑA, J. C.; HERMOSA, R. M. “Informe de evaluación forestal de la plantación de “Teca” (*Tectona grandis*) en el fundo la Génova - Junín”. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú. 16 p. 2007.

CALVO, J. **Visión general: Diagnóstico de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Mesoamérica**. Centro Científico Tropical PROARCA/CAPAS. 2000, 23 p.

CALVO, C. F.; COTRINA, A. D.; CUFRE, A. G.; OTT, M.; PITER, J. C.; STEFANI, P. M.; TORRAN, E. A.; VIVIAN, A. Propiedades de hinchamiento y contracción en la madera *Eucalyptus grandis* de Argentina. **Revista madeira, arquitetura & engenharia**, n. 20, año 8, 11 p, 2007. ISSN 1806-6097.

CAMINO, R.; MORALES, J. P. **Las plantaciones de teca en América Latina: Mitos y realidades**. Turrialba – CATIE. Serie técnica n° 397. Costa Rica. 2013, 392 p.

CARDOSO, S.; SOUSA, V.; QUILHÓ, T.; PEREIRA, H. **Variabilidade anatômica da teca (*Tectona grandis*) de Timor-Leste**. In: CONGRESSO FLORESTAL NACIONAL: A FLORESTA NUM MUNDO GLOBALIZADO, 6°, 2009, Ponta Delgada. Anais... Ponta Delgada: SCPF, 2009. p. 536-543.

CARVALHO, J. D. V. **Utilização da madeira na construção civil**. Dossiê técnico. Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília – CDT/UnB. Julho de 2007.

CASTRO, F.; RAIGOZA, J. Crecimiento y propiedades físicas de la madera de teca (*Tectona grandis*) de 17 años de edad en San Joaquín de Abangares, Costa Rica. **Agronomía Costarricense**, v. 24, n. 2, p. 07 – 23, 2000

CHAGAS, S. F.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; CARVALHO, A. M. M. L. Propriedades da madeira de teca de diferentes idades e oriundas de desbaste, **Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 5, n. 2, p. 138-150, 2014.

CHAVESTA, M. **Maderas para pisos**. Lima, Perú, UNALM. 2005. 176p.

CHUQUICAJA, C.; PEREIRA DA ROCHA, M.; KLITZKE, R.; GONZALES, E. Caracterización anatómica radial y axial de la madera de teca (*Tectona grandis* L.f.) plantada en Chanchamayo – Perú. **Ciência da Madeira**. v.11, n.2, p.107-120, 2020.

CORTEZ, B.J.; MOREIRA, S.J.; DE ALVARERENGA, F.; DUARTE, S.A.J.; ALMEIDA, A.V; NIVALDO, G.J. Simulation Analysis of In-Service Bamboo and Pine EGP Composite Flooring. **Advanced Materials Research** V. 1025-1026, P. 233-240, 2014.

CRESPO, R.; JIMENEZ, E.; SUATUNCE, P.; LAW, G.; SANCHEZ, C. Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera de teca (*Tectona grandis* L.F.) de Quevedo y Balzar. **Revista Ciencia y Tecnología**, v. 1, n. 2, p. 55-63, 2008.

DAVALOS, S. R.; BARCENAS, P. G. M. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición seca. **Madera y Bosques**, v. 5, n. 1, p. 61-69, 1999.

FERREYRA, S.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; MONTEIRO, T. C. Excentricidade da medula em caules de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 335-340, 2008.

FONSECA, G. W. **Manual para productores de teca (*Tectona grandis* L. f.)**. Costa Rica. 2004, 115 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Global teak trade in the aftermath of Myanmar's log export ban: Planted Forests and Trees Working Paper** FP/44/E. Rome, Italy. 22 p. 2015. (available at <http://www.fao.org/forestry/plantedforests/67508@170537/en/>)

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The Future of teak and the high-grade tropical hardwood sector: planted forests and trees working paper** FP/44E. Roma, Italia. 37 p. 2009.

FUENTES, F. J.; SILVA, J. A.; RODRIGUEZ, A. R.; SANJUÁN, D. R.; RICHTER, H. Perfil de estabilidad dimensional de las maderas Primavera y Rosa morada. **Revista Mexicana de Ciencias Forestales**, v. 5, n. 24, p. 56-69, 2014.

GONÇALVES, M. P.; COFFLER, R.; CARVALHO, A. M.; GARCIA, R. A. Variação radial da densidade básica e comprimento das fibras da madeira da *Tectona grandis* L. **Floresta e Ambiente**, v. 14, n. 1, p. 70-75, 2007.

GONÇALVES, V. C.; ZEN, L. R.; KLITZKE, R. J.; PEREIRA, M, da R.; FRANCA, M. C. Influence of the age on specific gravity and janka hardness in the wood of teak (*Tectona grandis* L. F.) for floor. **Australian Journal of Basic and applied Sciences**, v. 9, n. 35, p. 300-305, 2015.

GONZÁLEZ, G. Pisos de madera. **Kurú: Revista Forestal** (Costa Rica), v. 3, n. 7, 9p, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES (INRENA) **Plan Nacional de Reforestación**. /INRENA/PRONAMACH/FONDEBOSQUES/BSO/IIAP. Lima, Perú. 56 p. 2005.

INTERIÁN-KU, V. M.; BORJA, M. A.; VALDEZ-HERNÁNDEZ, J. I.; GARCÍA-MOYA, E., ROMERO-MANZANARES, A.; VAQUERA-HUERTA, H. (2011). Características anatómicas y propiedades físicas de la madera de *Caesalpinia gaumeri* Greenm en Dzan, Yucatán. **Madera y bosques**, v. 17, n. 1, p. 23-36, 2011.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMY (IAWA). List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10, n.3, p. 220-359, 1989.

JOSUE, J; IMIYABIR, Z. **Anatomical features, quality and mechanical properties of 15-years-old *Tectona grandis* (TEAK) planted in Sabah**: International Tropical Timber Organization (ITTO) project on improving utilization and value adding of plantation timbers from sustainable sources in Malaysia project no. PD 306/04 (01). 2011, 33 p.

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA (JUNAC). **Manual del Grupo Andino para el secado de maderas**. Lima. 650 p. 1989

KLITZKE, R. J. **Secagem da madeira**. UFPR. Curitiba – Brasil. 2003.

KOLLERT, W.; CHERUBINI, L. **Teak resources and market assessment 2010**. FAO Planted Forests and Trees Working Paper FP/47/E, Rome. 2012. (Available at <http://www.fao.org/forestry/plantedforests/67508@170537/en/>)

KOLLMAN, F. **Tecnología de la madera y sus aplicaciones**. Tomo I. Traducción de la segunda edición. Ministerio de agricultura, Instituto Forestal de investigaciones. Experiencias y servicios de la madera. Madrid. 1959.

KOLLMANN, F. F. P.; COTÊ, W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, v. 1, 1968. .

KRETSCHMANN, D. E. Mechanical properties of wood. **Wood handbook**: wood as an engineering material: chapter 5. Centennial report FPL; GTR-190. Madison, WI: U.S. Dept. of agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010: p 5.1-5.46.

LEON, H. W. J.; ESPINOZA, P. N. **Anatomía de la madera**. Universidad de los Andes, Consejo de publicaciones, Mérida, Venezuela, 2001.

LEON-H, W. J. Anatomía y densidad o peso específico de la madera, **Revista Forestal Venezolana**, año XLIV, v. 54, n. 1, p. 67-76, 2010.

LIMA, J. T.; DELLA LUCIA, R.M.; VITAL, B.R. Influencia do teor da umidade nas propriedades mecânicas de *Eucalyptus saligna* Smith. **Revista Árbore**, v. 10, n. 1, p. 27-43. 1986.

LIMA, I. L.; MONTEIRO, B. F. S.; LONGUI, E. L. Influência do espaçamento em algumas propriedades físicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 2, p. 244-250, abril-junio. 2009.

LIMA, I. L.; GARCIA, R.; LONGUI, E. L.; MONTEIRO, B. F. S. Dimensões anatômicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. em função do espaçamento e da posição radial do tronco. **Scientia Florestalis**, v. 39, n. 89, p. 61-68, 2011.

LOIOLA P.L. **Secagem da madeira de teca (*Tectona grandis* L.f.) sob diferentes condicoes**. 2015. 219 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba 2015.

MANTERO, C.; O'NEILL, H.; CARDOSO, A.; CASTAGNA, A. Propiedades físicas y mecánicas de una población de *Eucalyptus bosistoana* F. Muell. cultivada en Uruguay. **Agrociencia Uruguay**, v. 18 n. 1, p. 65-74, 2014.

MARCHESAN, R.; KASPRZAK, L. F. F.; SCHIRIGATTI, E. L.; KLITZKE, R. J.; ROCHA, M. P. Produção de Lamelas em Serra de Fita Horizontal Múltipla para Fabricação de Piso Engenheirado de Madeira. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p. 124-134, 2013.

MARCHESAN, R. **Caracterização tecnológica da madeira de *Hovenia dulcis* Thunberg para a fabricação de pisos**. 2016. 89 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

MARTINS, M. **Ensaio de Simulação de uso em pisos de *Eucalyptus clóeziana* F. Muell e *Corymbia maculata* Hook**. 2008. 48 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MARTINS, M.; SILVA, J. R. M.; LIMA, J. T.; GONÇALVES, M. T. T.; FILIPE, A. P. Simulação em uso dos pisos de madeira de *Eucalyptus* sp e *Corymbia maculata*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 151-156, jan/ mar. 2013.

MENDIOLA, A.; AGUIRRE, C.; DÁVILA, J.; FERNÁNDEZ, M.; VITTOR, P. **Estructuración económica y financiera de un instrumento de participación en negocios forestales: el caso de la teca en la región San Martín**: Universidad ESAN, Lima Perú. 2016, 192 p.

MIRANDA, I.; SOUSA, V.; PEREIRA, H. Wood properties of teak (*Tectona grandis*) from a mature unmanaged stand in East Timor. **Journal of Wood Science**, v. 57, n. 3, p. 171-178, 2011.

MIRANDA, G. B.; IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; GUILHERME, J. P.; YURK, V. da R. Análise da massa específica e da retratibilidade da madeira de *Tectona grandis*

nos sentidos axial e radial do tronco. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 4, p. 671-680, 2015.

MITCHELL, H. L. **Development of an adequate concept of wood quality for the guidance of geneticists and forest managers**. In: FIFTH WORLD FORESTRY CONGRESS PROCEEDINGS. **Anais...** s.d.

MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. 1999. 107p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da Madeira**. 4º edição, atualizada. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR. setembro, 2014.

MOYA, R.; BERROCAL, A.; SERRANO, J. R.; TOMAZELLO FILHO, M. Variación radial de la anatomía, densidad y durabilidad de la madera de teca (*Tectona grandis*) procedente de dos calidades de sitio y dos regiones climáticas de Costa Rica. **Forest Systems**, Madrid, España, v. 18, n. 2, p. 119-131. 2009.

MOYA, R. R.; MUÑOZ, F. A.; BERROCAL, A. J. Teca: *Tectona grandis* L.f. Verbenaceae. Ficha técnica 7. In Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas Técnicas. MOYA, R. R.; MUÑOZ, F. A.; SALAS, C. G.; BERROCAL, A. J.; LEANDRO, L. Z.; ESQUIVEL, E. S. (en línea). **Revista forestal mesoamericana Kurú**, v. 7, n. 18-19, p. 117-131, 2010. Disponible en www.tec.ac.cr/revistaforestal.

NÁJERA, L. J. A. **Evaluación del proceso productivo maderable en la región de El Salto, Durango, México**. 2010. 198 p. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 2010.

NORMA TÉCNICA PERUANA **NTP 251.150 2004** – Pisos de madera. Terminología y definiciones Comisión de reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI. Lima Perú. Primera edición. 17 p.

OBINO, C. R. Usos da madeira de eucalipto. In: SIMPÓSIO IPEF, 6., 1996, Piracicaba. **Anais....** Piracicaba: IPEF, 1996. v. 4, p. 27-29.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 429p., 2v. Tese (Doutorado, Escola Politécnica) Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG v.29, n.1, p.115-127, 2005.

OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Arvore**, v.34, n.5, p. 929-936. Viçosa-MG, 2010.

OLIVEIRA, M. B. **Avaliação da qualidade de pisos comerciais confeccionados com madeiras de *Bowdichia nitida* Benth (Spr.), *Dipterxy odorata* (aubl.) Willd, *Mimosa scabrella* Benth e *Tabebuia impetiginosa*.** 2016. 56 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira). Universidade Federal de Lavras. Lavras-MG. 2016.

OLIVEIRA, M. B.; SILVA, J. R. M.; HEIN, P. R. G.; LIMA, J. T. Establishment of quality classes for hardwood floorings by simulated use. **CERNE**, v. 25, n. 1, p. 105-109, 2019.

PADILHA, C. **Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus sp* para utilização em pisos.** 2005. 71 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavra, Lavras, 2005.

PADILHA, C.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, P. F.; ANDRADE, H. B. Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus urophylla* para utilização em pisos. **Revista Scientia Forestalis**, n. 71, p. 141-147, agosto 2006.

PANDEY, D.; BROWN, C. **La teca: una visión global.** Unasylva 201, vol. 51. 2000.

PANSHIN, A.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology.** 4 ed. New York, US, McGraw-Hill., 1980.

PEREZ, O. C.; QUINTANAR, I. A. **Características anatómicas de la madera de 5 especies del Estado de Jalisco, México.** Instituto de Ecología A. C. Patzcuaro, México. n. 27 p. 75-87, 1994.

PEREZ, C. L. D.; KANNINEN, M. Heartwood, sapwood and bark content, and wood dry density of young and mature teak (*Tectona grandis*) trees grown in Costa Rica. **Silva Fennica**, v. 37, n. 1, p. 45-54, 2003.

PIMENTEL, F. G. **Curso de estatística experimental**, 13ª Edição. Universidade de São Paulo. Livraria Nobel S.A., São Paulo, Brasil. 1990.

PINTO, M. L. **Propriedades e características da madeira de teca (*Tectona grandis*) em função da idade.** 2007. 124 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

QUINTANAR, A.; PÉREZ, O. C. P, DE LA CRUZ-LAINA I, RAZO-BALCAZAR D. **Anatomía de la madera de ocho especies de angiospermas de clima templado,** Boletín de la Sociedad Botánica de México 58: 5-14. 1996.

REYES, P. J. **Influencia de cuatro sistemas del uso de la tierra (teca, cítricos y café bajo sombra manejado y en abandono), en la sortividad en el IRD Selva Fundo La Génova, Chanchamayo, Junín.** 2014. 127 p. Tesis (para optar título de Ingeniero Forestal), Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. 2014.

RIVERO, J.; MOYA, R. Propiedades físico-mecánicas de la madera de *Tectona grandis* Linn. F. (teca), proveniente de una plantación de ocho años de edad en

Cochabamba Bolivia. **Kurú: Revista Forestal** (Costa Rica), v. 3, n. 9, 14p, 2006. 14p.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria-prima para serrarias**. 2000. 157 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

RODRIGUEZ, E. **Clima, informe temático**. Proyecto Mesozonificación Ecológica y Económica para el Desarrollo Sostenible de la Provincia de Satipo, convenio entre el IIAP, DEVIDA y la Municipalidad Provincial de Satipo. Iquitos – Perú. 30 p. 2010.

RODRIGUEZ, R. A.; ZAMORA, J. F. N.; SILVA J. A. G.; SALCEDO, E. P.; FUENTES, F. J. T. Propiedades físico-mecánicas de madera de teca de plantaciones comerciales. **Revista Mexicana de Ciencias Forestales**, v. 5, n. 24, p. 12-25, 2014.

RODRIGUEZ-ANDA, R.; FUENTES-TALAVERA, F. J.; SILVA GUZMAN, J. A.; PALACIOS-JUAREZ, H.; TURRADO-SAUCEDO, J. Relationship of the cellular structure of teak Wood (*Tectona grandis* L.f.) with different ages and growth sites. **Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente**, v. 24, n. 1, p. 101-114, 2018.

ROQUE, R. M.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da estrutura anatômica do lenho de árvores de *Gmelina arborea* em diferentes condições de clima e de manejo na Costa Rica. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 83, p. 273-285, set. 2009.

ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R.; TSHABALALA, M. A. *Cell Wall Chemistry from: Handbook of wood chemistry and wood composites* CRC Press. pp 34-43. 06 sep 2012. Acceso: 21 de mayo de 2020. <https://www.routledgehandbooks.com/doi/10.1201/b12487-5>

SANTOS, I. S. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus* sp. Para a produção de piso a partir de toras de pequenos diâmetros**. 2008. 66 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira). Universidade Federal de Lavras. Lavras. 2008.

SANTOS, I. S.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M. Avaliação de pisos produzidos a partir de toras de clones de *Eucalyptus* sp. com pequenos diâmetros. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 473-478, 2010

SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE (SERFOR). **Anuario forestal y de fauna silvestre 2017**. Ministerio de agricultura y riego. Perú. 2019.

SHIMOYAMA, V. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 24., 1991, São Paulo. **Anais** ... São Paulo: ABTCP, 1991. p. 178-183.

SIAU, J. F. **Transport processes in wood**. Berlín: Springer-Verlag, 1984.

SILVA, F. D.; BITTENCOURT, R. M. Estudo do desgaste à abrasão do eucalipto, madeira laminada e bambú gigante laminado utilizados como elemento de piso. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2002.

SILVA, C. A. C. **Qualidade de pisos maciços de madeiras tropicais**. 2019. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá-MT. 2019.

SOLER, S. L. **Propriedades de pisos maciços de teca e bracatinga**. 2014. 42 p. Trabalho de Conclusão de Curso Profissionalizante em Engenharia Industrial Madeireira, como requisito parcial para a obtenção do título de “Engenheiro Industrial Madeireiro”. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2014.

SOTOMAYOR, J. R. C.; RAMIREZ M. P. **Densidad y Características higroscópicas de maderas mexicanas**. Base de datos y criterios de clasificación. Publicación del laboratorio de mecánica de la madera, división de estudios de posgrado, Facultad de Ingeniería de Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, v. 9, n. 3, 30 p. Diciembre de 2013.

SPAVENTO, E. M.; KEIL, G. D.; MONTEOLIVA, S. **Propiedades mecánicas de la madera**. Departamento de ingeniería agrícola y forestal, Facultad de ciencias agrarias y forestales, Universidad nacional de la plata. 26p. 2008.

SUIREZS, T. M.; BERGER, G. Descripción de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. 1ª Ed. EdUNaM – Editorial universitaria de la Universidad Nacional de Misiones. 2010.

TELLES, R. A.; NAGERA J. A. L.; ALANIS, E. R.; AGUIRRE O. A. C.; JIMENEZ, J. P.; GOMEZ, M. C.; MUÑOZ, H. J. F. Propiedades físico-mecánicas de la madera de *Tectona grandis* L f. de una plantación comercial en el estado de Michoacán. **Revista Mexicana de Ciencias Forestales**, v. 8, n. 40, p. 37-56, 2017.

THULASIDAS, P. K.; BHAT, K. M. Mechanical properties and wood structure characteristics of 35-year old home-garden teak from wet and dry localities of Kerala, India in comparison with plantation teak. **Journal Indian Academy Wood Science**, Springer, v. 9, n. 1, p. 23-32, 2012.

TOLEDO E. Reforesta Perú SAC; **Un caso de éxito en plantaciones forestales con fines comerciales e industriales**. Revista Agro enfoque Perú. 2016, 11 p.

TORRES, F.S. **Teak potential in Brazil**. Ponencia presentada en el seminario regional Site, Technology and Productivity of Teak Plantations, Chiang Mai, Tailandia. 26-29 de enero de 1999.

VIGNOTE, P. S.; MARTINEZ, R. I. **Tecnología de la madera**. 3.ª Edición revisada y ampliada. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2006.

WEAVER, P. L. ***Tectona grandis* L.f. Teak**. SO-ITF-SM-64. New Orleans, LA: U. S. Department of agriculture, Forest service, Southern forest experiment Station. 18 p. 1993.

YPUSHIMA, P. A. L.; SALCEDO, P. E.; MANRÍQUEZ, G. R.; SILVA, G. J. A.; ZAMORA, N. J. F.; HERNÁNDEZ, A. E. Propiedades de la madera y relación del estado nutricional con el crecimiento en teca. **Revista mexicana científica forestal**, v. 5, n. 24, p. 26-39, 2014.

ZUÑIGA C.C. **Aplicación de la dendrocronología para evaluar la influencia de la precipitación y la temperatura en el crecimiento de *Tectona grandis* L.f. procedente del Fundo Génova – Junín**. 2012. 85 p. Tesis (Título de Ingeniero forestal). Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 2012.

ANEXO 1 - ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA MASA ESPECÍFICA BÁSICA Y DUREZA JANKA

Análisis de varianza para la masa específica básica de la madera

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor F	Valor p
Tratamientos	1	0.08568	0.08568	147.73**	0,000
Residuos	94	0.05452	0.00058		
Total	95	0.1409			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < 0,01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0,5$)

ns No significativo ($p \geq 0,05$)

Análisis de varianza para el ensayo de Dureza Janka de la madera

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor F	Valor p
Tratamiento	1	143361656	143361656	41,07**	0,000
Residuo	94	32812685	349071		
Total	95	47148850			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns No significativo ($p \geq .05$)

ANEXO 2- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO DE CARGA RODANTE

Análisis de varianza para el Ensayo de carga rodante en madera albura y duramen sin acabado y con acabado con 10 viajes

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor F	Valor p
Tratamiento	1	0,02109	0,02109	4,58*	0.037
Residuo	58	0,26715	0,004606		
Total	59	0,28823			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

ns No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de carga rodante en madera de albura y duramen sin acabado y con acabado con 25 viajes

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor F	Valor p
Tratamiento	1	0,05892	0,058917	10,41**	0.002
Residuo	58	0,32820	0,005659		
Total	59	0,38712			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de carga rodante en madera de albura y duramen sin acabado y con acabado con 50 viajes

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,06061	0,06061	8,23*	0.006
Residuo	58	0,42705	0,007363		
Total	59	0,48766			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el Ensayo de carga rodante en madera 100% duramen sin acabado y con acabado con 10 viajes

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor F	Valor p
Tratamiento	1	0,004649	0,004649	1,48 ^{ns}	0,229
Residuo	58	0,182299	0,003143		
Total	59	0,186948			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de carga rodante en madera de 100% duramen sin acabado y con acabado con 25 viajes

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor F	Valor p
Tratamiento	1	0,01236	0,01236	3,22 ^{ns}	0.074
Residuo	58	0,21615	0,003727		
Total	59	0,22850			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de carga rodante en madera de 100% duramen sin acabado y con acabado con 50 viajes

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,05045	0,05045	9,67*	0.003
Residuo	58	0,30261	0,005217		
Total	59	0,35306			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

ANEXO 3 - ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO DE HENDIDURA CAUSADA POR CARGAS APLICADAS EN PEQUEÑAS ÁREAS

Análisis de varianza para el ensayo de hendidura causada por cargas aplicadas en pequeñas áreas con 50 viajes sin acabado

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,004784	0.004784	14.18**	0.000
Residuo	94	0.031719	0.000337		
Total	95	0.036503			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de hendidura causada por cargas aplicadas en pequeñas áreas con 100 viajes sin acabado

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,009312	0,009312	26,04**	0.000
Residuo	94	0,033620	0,000358		
Total	95	0,042933			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de hendidura causada por cargas aplicadas en pequeñas áreas con 50 viajes con acabado

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,01976	0,01976	56,56**	0.000
Residuo	94	0,03284	0,000349		
Total	95	0,05260			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de hendidura causada por cargas aplicadas en pequeñas áreas con 100 viajes con acabado

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,001880	0,001880	4,73*	0,032
Residuo	94	0,037344	0,000397		
Total	95	0,039224			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de hendidura causada por cargas aplicadas en pequeñas áreas con 50 viajes con acabado y sin acabado

Fuente de variación	GI	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,021318	0,021318	60,04**	0.000
Residuo	190	0.067109	0,000355		
Total	191	0,088427			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de hendidura causada por cargas aplicadas en pequeñas áreas con 100 viajes con acabado y sin acabado

Fuente de variación	GI	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,020114	0,020114	52,53*	0,000
Residuo	190	0,072376	0,000383		
Total	191	0,092490			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

ANEXO 4 - ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO DE ABRASIVIDAD

Análisis de varianza para el ensayo de abrasión en madera sin acabado

Fuente de variación	GI	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,000880	0.000880	0,71 ^{ns}	0.402
Residuo	52	0,064031	0.001231		
Total	53	0,064911			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de abrasión en madera con acabado

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,001345	0,001345	3,28 ^{ns}	0,076
Residuo	52	0,021325	0,000410		
Total	53	0,022670			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de abrasión en madera con albura y duramen con acabado y sin acabado

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,02019	0,02019	28,34**	0.000
Residuo	52	0,03705	0,000712		
Total	53	0,05724			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de abrasión en madera con 100% de duramen con acabado y sin acabado

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,02223	0,02223	23,93**	0,000
Residuo	52	0,04831	0,000929		
Total	53	0,07054			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de abrasión en madera sin acabado y con acabado.

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,042404	0,42404	52,15**	0.000
Residuo	106	0,085380	0,000821		
Total	107	0,127784			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

ANEXO 5 - ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO DE IMPACTO DE CAÍDA DE ESFERA DE ACERO

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 1 sin acabado

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,003193	0.003193	10,01*	0.004
Residuo	22	0,007018	0.000319		
Total	23	0,010211			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 2 sin acabado

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,008655	0,008655	13,33*	0,001
Residuo	22	0,014282	0,000649		
Total	33	0,022937			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 3 sin acabado

Fuente de variación	GI	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,000367	0,000367	0,16 ^{ns}	0.690
Residuo	22	0,049561	0,002253		
Total	23	0,049928			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 4 sin acabado

Fuente de variación	GI	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,01091	0,01091	23,93**	0,000
Residuo	22	0,08503	0,003865		
Total	23	0,09594			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 5 sin acabado

Fuente de variación	GI	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,02213	0,02213	6,41*	0,019
Residuo	22	0,07596	0,003453		
Total	23	0,09809			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 6 sin acabado

Fuente de variación	GI	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,005898	0,005898	0,96 ^{ns}	0,339
Residuo	22	0,135709	0,006169		
Total	23	0,141606			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 7 sin acabado

Fuente de variación	GI	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,002483	0,002483	0,88 ^{ns}	0,358
Residuo	22	0,062083	0,002822		
Total	23	0,064566			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 8 sin acabado

Fuente de variación	GI	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,01416	0,01416	6,6*	0.017
Residuo	22	0,04674	0,002124		
Total	23	0,06089			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 9 sin acabado

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,002363	0,002363	0,35 ^{ns}	0,562
Residuo	22	0,150160	0,006825		
Total	23	0,152523			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 10 sin acabado

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,01107	0,01107	3,47 ^{ns}	0,076
Residuo	22	0,07022	0,003192		
Total	23	0,08129			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 11 sin acabado

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,02079	0,02079	5,45*	0,029
Residuo	22	0,08391	0,003814		
Total	23	0,10469			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 12 sin acabado

Fuente de variación	GI	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,01663	0,01663	4,58*	0.044
Residuo	22	0,07994	0,003634		
Total	23	0,09657			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 1 con acabado

Fuente de variación	GI	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,000856	0.000856	2,01 ^{ns}	0,187
Residuo	10	0,004263	0.000426		
Total	11	0,005119			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 2 con acabado

Fuente de variación	GI	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,004008	0,004008	2,22 ^{ns}	0,167
Residuo	10	0,018040	0,001804		
Total	11	0,022048			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 3 con acabado

Fuente de variación	GI	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,006678	0,006678	2,49 ^{ns}	0,145
Residuo	10	0,026767	0,002677		
Total	11	0,033445			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 4 con acabado

Fuente de variación	GI	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,02002	0,02002	5,31*	0,044
Residuo	10	0,03769	0,003769		
Total	11	0,05771			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 5 con acabado

Fuente de variación	GI	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,07019	0,07019	11,83*	0,006
Residuo	10	0,05934	0,005934		
Total	11	0,12952			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 6 con acabado

Fuente de variación	GI	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,000561	0,000561	0,38 ^{ns}	0,549
Residuo	10	0,014597	0,001460		
Total	11	0,015158			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 7 con acabado

Fuente de variación	GI	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,01082	0,01082	4,03 ^{ns}	0,073
Residuo	10	0,02688	0,002688		
Total	11	0,03770			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 8 con acabado

Fuente de variación	GI	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,003942	0,003942	0,89 ^{ns}	0,367
Residuo	10	0,044108	0,004411		
Total	11	0,048050			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 9 con acabado

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,011918	0,011918	20,9**	0,001
Residuo	10	0,005703	0,000570		
Total	11	0,017620			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 10 con acabado

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,01018	0,01018	1,0 ^{ns}	0,341
Residuo	10	0,10177	0,01018		
Total	11	0,11195			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 11 con acabado

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,004036	0,004036	0,28 ^{ns}	0,609
Residuo	10	0,144719	0,014472		
Total	11	0,1448756			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de caída de esfera de acero altura 12 con acabado

Fuente de variación	GI	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,02112	0,02112	1,69*	0.245
Residuo	10	0,13846	0,01385		
Total	11	0,15959			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

ANEXO 6 - ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ENSAYO DE FRICCIÓN

Análisis de varianza para el ensayo de fricción estática en madera sin acabado

Fuente de variación	GI	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,1722	0,172185	24,99**	0.000
Residuo	68	0,4686	0,006891		
Total	69	0,6407			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de fricción dinámica en madera sin acabado

Fuente de variación	GI	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,06907	0,06907	28,45**	0,000
Residuo	68	0,16508	0,002428		
Total	69	0,23416			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)

Análisis de varianza para el ensayo de fricción estática en madera con acabado

Fuente de variación	Gl	SQ	QM	Valor f	Valor p
Tratamiento	1	0,05121	0,051209	7,58*	0.008
Residuo	68	0,45915	0,006752		
Total	69	0,51036			

** Significativo a nivel de 1% de probabilidad ($p < .01$)

* Significativo a nivel de 5% de probabilidad ($.01 \leq p < 0.5$)

^{ns} No significativo ($p \geq .05$)